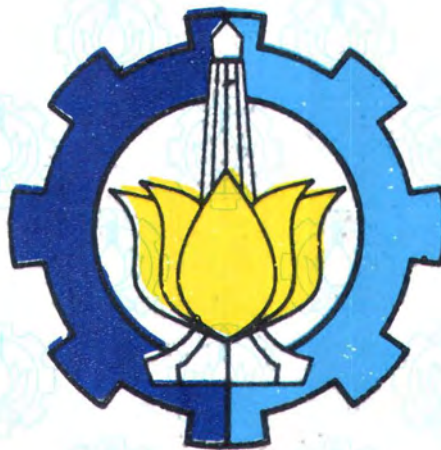


27/17/H/06



TUGAS AKHIR
LL 1327

**SENSITIVITAS TEGANGAN STRUKTUR
3 DAN 4 KAKI *OFFSHORE PLATFORM*
AKIBAT BEBAN GELOMBANG DAN *PAYLOAD***



RS Ke
627-98
Ran
S-1
2006

Oleh :

Chalendra Ranumiharjo
4301.100.061

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	2-8-06
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	225709

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2006**

LEMBAR PENGESAHAN

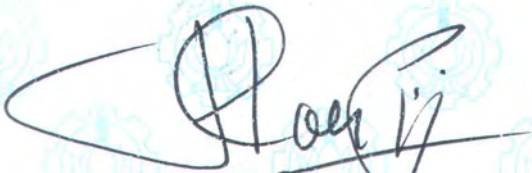
SENSITIVITAS TEGANGAN STRUKTUR
3 DAN 4 KAKI *OFFSHORE PLATFORM*
AKIBAT BEBAN GELOMBANG DAN *PAYLOAD*



Chalendra Ranumiharjo
4301.100.061

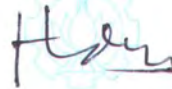
Surabaya, Juli 2006
Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing I



Ir. Murdjito, MSc Eng
NIP. 132 149 376

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Handayanu, MSc
NIP. 131 782 032

Ketua Jurusan Teknik Kelautan



Ir. Imam Rochani, M.Sc
NIP. 131 417 209



ABSTRAK

Abstrak

Oleh :
Chalendra Ranumiharjo

Dosen Pembimbing :
Murdjito
Handayanu

Dalam tulisan ini akan dibahas mengenai sensitivitas tegangan struktur *tripod* dan *tetrapod* akibat beban gelombang dan *payload*. Sensitivitas dalam tugas akhir ini adalah kondisi dimana terjadi penambahan (increment) beban yang merupakan faktor dari beban itu hingga terjadi *catastropik failure* (kegagalan akibat adanya *buckling*) untuk tiap – tiap struktur dan kecenderungannya dapat digambarkan pada suatu grafik. Pemodelan dilakukan dengan software *GT-Strudl* dan *GT-Selos* dan pembebanan dilakukan pada kondisi operasi. Sensitivitas akibat *payload* merupakan kecenderungan tegangan (UC) terhadap *payload factor* hingga tercapai kondisi kritis dan *load case* yang dikalibrasi adalah *main deck*, *cellar deck*, dan *self weight*. *Payload factor* yang digunakan adalah 1, 2, 3, 4, dan 5. Sensitivitas akibat beban gelombang merupakan kecenderungan tegangan (UC) terhadap *wave height factor* hingga mendekati *air gap*. Kemudian hasil akhirnya digambarkan pada suatu grafik beserta hasil regresinya untuk lokasi di *deck*, *jacket*, dan *pile*. Dari grafik regresinya akan terlihat hubungan grafik tersebut dengan tegangan (*unity check*). Pada *tetrapod structure* $R^2 = 0.9944$ dan pada *tripod structure* $R^2 = 0.8692$.

Kata-kata kunci : Sensitivitas, *payload factor*, *wave height factor*, *catastropik failure*, *R-Squared*

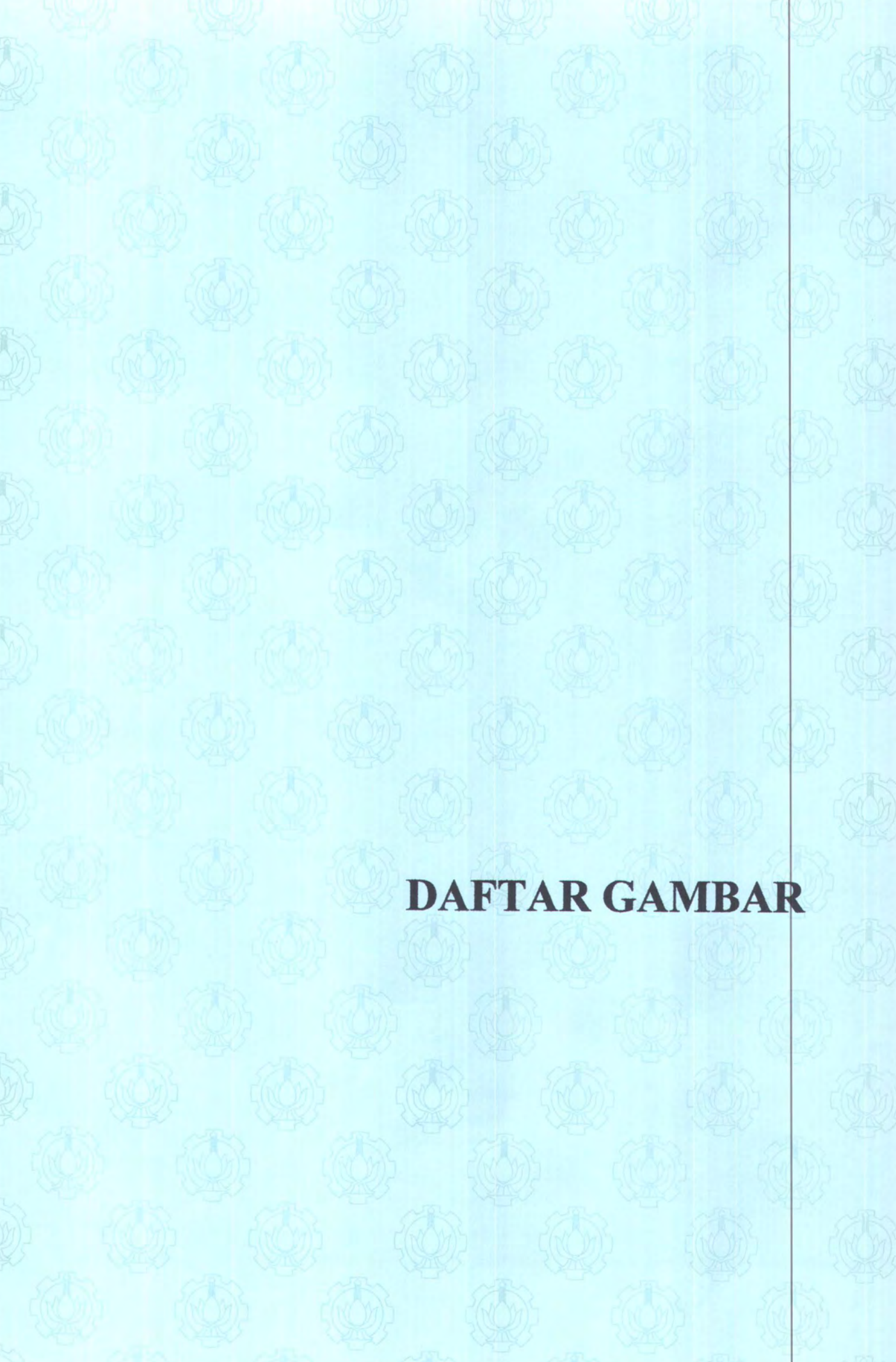
Abstract

By :
Chalendra Ranumiharjo

Under Supervision :
Murdjito
Handayanu

This final project will discuss about stress sensitivity of *tripod* and *tetrapod* structures due to wave forces and *payload*. Sensitivity in this final project is a condition where the increment of forces are achieved until *catastropik failure*. Then, the result of sensitivity is drawn on a piece of chart. By using *GT-Strudl* and *GT-Selos* programme, the modeling and loading are applied at operating condition. Sensitivity due to *payload factor* is a tend of stress (*Unity check*) toward *payload factor* until the critical condition is achieved and the calibrated are *main deck*, *cellar deck*, and *self weight*. The *payload factors* are used at 1, 2, 3, 4, and 5. Sensitivity due to wave forces is reached until near the *air gap*. Then the result of sensitivity is drawn on a chart with it's regresion result on *deck*, *jacket*, and *pile*. From the regresion result will be seen correlation of chart toward stress (*Unity check*). The regression result or *R-Squared* (R^2) of *tetrapod* and *tripod* structure are 0.9944 and 0.8692.

Keywords : Sensitivity, *payload factor*, *wave height factor*, *catastropik failure*, *R-Squared*



DAFTAR GAMBAR

KATA PENGANTAR

Assalammulaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah, dalam kesempatan ini penyusun memanjakan rasa syukur yang sedalam-dalamnya kehadirat Allah SWT. Semata-mata karena kasih sayang-Nyalah Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Sholawat dan salam semoga selalu tercurah pada Nabi akhir jaman, Muhammad SAW, semoga keindahan pribadinya bisa melekat pada diri kita. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Tugas Akhir ini berjudul “ **Sensitivitas Tegangan Struktur 3 dan 4 Kaki Offshore Platform Akibat Beban Gelombang dan Payload**”, dan semoga bisa berguna untuk perkembangan dunia teknik lepas pantai di Indonesia.

Penyusun menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini tentu tidak terlepas dari kekurangan dan kesalahan. Maka dari itu Penyusun sangat mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun dari para pembaca sekalian, sehingga ketidaksempurnaan ini bisa diperbaiki untuk kesempatan selanjutnya.

Penyelesaian Tugas Akhir ini dapat terwujud tentu tidak terlepas dari bantuan dan dorongan semangat dari berbagai pihak. Berkaitan dengan hal tersebut dalam kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Keluarga tersayang; Bapak, Ibu, kakak, dan adik yang selalu memberi dukungan dan kasih sayang terbaik.
2. Ir. Murdjito, MSc Eng dan Dr. Ir. Handayanu, Msc selaku dosen pembimbing yang telah bersedia dengan sabar memberikan bimbingan selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Ir. Imam Rochani, M.Sc selaku Ketua dan DR. Ir. Handayanu, M.Sc selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS yang telah memberikan nasehat dan fasilitas sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc, selaku dosen wali yang telah memberikan banyak nasehat dan bimbingan selama menjalani masa perkuliahan di jurusan Teknik Kelautan.

5. Seluruh Dosen di Jurusan Teknik Kelautan yang dengan ikhlas mengajarkan ilmunya kepada penyusun, semoga ilmu yang diajarkan menjadi bermanfaat dan bisa diamalkan oleh penyusun.
6. Seluruh Karyawan di Jurusan Teknik Kelautan yang selalu siap membantu menyelesaikan permasalahan administratif dengan penuh kesabaran.
7. Seluruh teman angkatan 2001 (L19) yang telah menjadi teman terbaik dalam menjalani amanat menuntut ilmu di Jurusan Teknik Kelautan ini.
8. Segenap pihak yang telah berpartisipasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini dan tak mungkin disebutkan satu persatu.

Semoga amal dan kebaikan bapak/ ibu/ saudara diterima disisi Allah SWT dan mendapatkan balasan yang lebih baik dari-Nya, Amin Ya Robbal Alamin.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Surabaya, Juli 2006

Chalendra Ranumiharjo



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

	Halaman
Abstrak.....	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iv
Daftar Tabel	vii
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Notasi	x

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan Masalah	2
1.6 Sistematika Penulisan	3

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan	4
2.2 Sensitivitas	5
2.3 Tegangan Normal / Aksial	5
2.4 Tegangan Ijin	7
2.4.1 Tegangan Tarik	7
2.4.2 Tegangan Tekan	7
2.4.3 Tegangan Bending	7
2.4.4 Tegangan Geser.....	8
2.4.4.1 Tegangan Geser Beam Maksimum.....	8
2.4.4.2 Tegangan Geser Beam Ijin.....	8
2.4.5 Tegangan Geser Torsional	8
2.4.5.1 Tegangan Geser Torsional Maksimum	8
2.4.5.2 Tegangan Geser Torsional Ijin	8

2.4.6 Tegangan Majemuk Tekan dan Bending	8
2.5 Beban Gelombang Air Laut	9
2.6 Teori Gelombang Stokes Ordo 5	9
2.7 Penentuan Teori Gelombang	10
2.8 Perhitungan Beban Gelombang	10
2.9 Penentuan C_D , C_M , dan Faktor Kinematik	14
2.10 Penentuan Beban <i>Payload</i>	15
2.11 Analisa Pondasi Pile	16
2.11.1 Parameter Tanah	16
2.11.2 Kriteria Disain	16
2.11.3 Beban Pada <i>Pile</i>	17
2.11.4 Perhitungan Penetrasi <i>Pile</i>	17
2.12 Metode Analisa Pada GT-Strudl	17
2.12.1 Pengenalan	17
2.12.2 Pemodelan	18
2.12.3 Pembebanan	18
2.12.4 In Place State Analysis (Analisa Statis)	18
2.13 Koefisien Determinasi	19

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 <i>Flowchart</i>	20
3.2 Uraian	21
3.3 Struktur ZUF <i>Jacket Platform</i>	22
3.3.1 Data Struktur	22
3.3.2 Data Lingkungan	22
3.3.3 Pemodelan Struktur ZUF Well Platform	24
3.3.4 Pemodelan Struktur Kaki	24
3.3.5 Pemodelan Struktur Geladak	25
3.3.6 Pemodelan Beban	25
3.3.7 Pemodelan Beban Geladak	25
3.3.8 Pemodelan Beban Gelombang	26
3.3.9 Penentuan Teori Gelombang	27
3.3.10 Perhitungan Beban Gelombang	27

3.4 Struktur LES-A <i>Jacket Platform</i>	28
3.4.1 Data Struktur	28
3.4.2 Data Lingkungan.....	28
3.4.3 Pemodelan Struktur LES-A Well Platform.....	29
3.4.4 Pemodelan Struktur Kaki	29
3.4.5 Pemodelan Struktur Geladak	30
3.4.6 Pemodelan Beban.....	31
3.4.7 Pemodelan Beban Geladak	31
3.4.8 Pemodelan Beban Gelombang	32
3.4.9 Penentuan Teori Gelombang.....	33
3.4.10 Perhitungan Beban Gelombang	33

BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Struktur ZUF <i>Jacket Platform</i>	34
4.1.1 <i>Output</i> dari <i>Payload Factor</i>	34
4.1.2 <i>Output</i> dari <i>Wave Height Factor</i>	35
4.1.3 <i>Output</i> dari <i>Pile akibat Payload Factor</i>	37
4.1.4 <i>Output</i> dari <i>Pile akibat Wave Height Factor</i>	38
4.2 Struktur LES-A <i>Jacket Platform</i>	39
4.2.1 <i>Output</i> dari <i>Payload Factor</i>	39
4.2.2 <i>Output</i> dari <i>Wave Height Factor</i>	41
4.2.3 <i>Output</i> dari <i>Pile akibat Payload Factor</i>	42
4.2.4 <i>Output</i> dari <i>Pile akibat Wave Height Factor</i>	43

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran.....	46

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Daftar Tabel

Tabel 3.1	<i>Design Water Depth Kondisi Operasi Struktur ZUF</i>	23
Tabel 3.2	<i>Design Water Depth Kondisi Ekstrim Struktur ZUF</i>	23
Tabel 3.3	Beban Vertikal dan Horisontal pada <i>Jacket</i> untuk <i>ZUF Platform</i>	24
Tabel 3.4	Beban Vertikal pada Geladak untuk <i>ZUF Platform</i>	26
Tabel 3.5	Beban Vertikal dan Horisontal pada <i>Jacket</i> untuk <i>LES-A Platform</i>	30
Tabel 3.6	Beban Vertikal pada Geladak untuk <i>LES-A Platform</i>	32
Tabel 4.1	<i>Member Stress Check</i> Akibat Payload Struktur ZUF	34
Tabel 4.2	<i>Member Stress Check</i> Akibat Wave Height Struktur ZUF	35
Tabel 4.3	<i>Output Stress Check Pile</i> Akibat Payload Struktur ZUF	37
Tabel 4.4	<i>Output Stress Check Pile</i> Akibat Wave Height Struktur ZUF	38
Tabel 4.5	<i>Member Stress Check</i> Akibat Payload Struktur LES-A	39
Tabel 4.6	<i>Member Stress Check</i> Akibat Wave Height Struktur LES-A	41
Tabel 4.7	<i>Output Stress Check Pile</i> Akibat Payload Struktur LES-A	42
Tabel 4.8	<i>Output Stress Check Pile</i> Akibat Wave Height Struktur LES-A	43



KATA PENGANTAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Pembebanan Aksial Pada Batang Tubular	6
Gambar 2	Pembebanan Momen Kopel Pada Batang Tubular	6
Gambar 3	Grafik Region of Validity	10
Gambar 4	Aplikasi Persamaan <i>Morison</i> pada Silinder Tegak	12
Gambar 5	Aplikasi Persamaan <i>Morison</i> pada Silinder Miring	14
Gambar 6	Perkiraan Berat Geladak Sebagai Fungsi dari Produksi Minyak Rata – Rata per Hari	15
Gambar 7	Perkiraan Luas Geladak Sebagai Fungsi dari Produksi Minyak Rata – Rata per Hari	16
Gambar 8	Alur Metodologi penelitian	20
Gambar 9	<i>Detailed Model</i> Struktur ZUF	25
Gambar 10	Arah Gelombang Untuk Struktur <i>Jacket</i> ZUF	27
Gambar 11	<i>Detailed Model</i> Struktur <i>LES-A</i>	31
Gambar 12	Arah Gelombang Untuk Struktur <i>Jacket</i> <i>LES-A</i>	32
Gambar 13	Regresi Sensitivitas Tegangan Pada <i>Deck</i> Akibat <i>Payload Factor</i> (ZUF)	34
Gambar 14	Regresi Sensitivitas Tegangan Pada <i>Jacket</i> Akibat <i>Payload Factor</i> (ZUF)	35
Gambar 15	Regresi Sensitivitas Tegangan Pada <i>Deck</i> Akibat <i>Wave Height Factor</i> (ZUF)	36
Gambar 16	Regresi Sensitivitas Tegangan Pada <i>Jacket</i> Akibat <i>Wave Height Factor</i> (ZUF)	37
Gambar 17	Regresi Sensitivitas Tegangan Pada <i>Pile</i> Akibat <i>Payload Factor</i> (ZUF)	38
Gambar 18	Regresi Sensitivitas Tegangan Pada <i>Pile</i> Akibat <i>Wave Height Factor</i> (ZUF)	39
Gambar 19	Regresi Sensitivitas Tegangan Pada <i>Deck</i> Akibat <i>Payload Factor</i> (LES-A)	40

Gambar 20	Regresi Sensitivitas Tegangan Pada <i>Jacket</i> Akibat <i>Payload Factor</i> (ZUF)	40
Gambar 21	Regresi Sensitivitas Tegangan Pada <i>Deck</i> Akibat <i>Wave Height Factor</i> (LES-A)	41
Gambar 22	Regresi Sensitivitas Tegangan Pada <i>Jacket</i> Akibat <i>Wave Height Factor</i> (LES-A)	42
Gambar 23	Regresi Sensitivitas Tegangan Pada <i>Pile</i> Akibat <i>Payload Factor</i> (LES-A)	43
Gambar 24	Regresi Sensitivitas Tegangan Pada <i>Pile</i> Akibat <i>Wave Height Factor</i> (LES-A)	44





DAFTAR NOTASI

DAFTAR NOTASI

A	=	Luas area (m^2)
A_{ei}	=	<i>External pile surface area/section</i> (m^2)
A_{ii}	=	<i>internal pile surface area/section</i> (m^2)
A_p	=	<i>gross end area of pile</i> (m^2)
a_x	=	percepatan horizontal partikel air laut (m/s^2)
C_c	=	koefisien <i>buckling</i> tekan
C_d	=	Koefisien drag
C_m	=	Koefisien inersia
c	=	celerity (m/s^2)
D	=	diameter silinder (m)
E	=	modulus Young (MPa)
e	=	eksentrisitas
F	=	tegangan tarik (MPa)
F_a	=	tegangan tekan aksial (MPa)
F_b	=	tegangan bending (MPa)
F_d	=	gaya drag (N)
F_i	=	gaya inersia (N)
FK	=	Froude-Krylov
F_y	=	tegangan <i>yield</i> (MPa)
F_w	=	gaya gelombang (N)
f_a	=	tegangan aksial actual (MPa)
f_{ei}	=	<i>External unit skin friction/section</i> (kPa)
f_{ii}	=	<i>internal unit skin friction/section</i> (kPa)
f_{bx}	=	tegangan bending aktual untuk arah x (Mpa)
f_{by}	=	tegangan bending aktual untuk arah y (Mpa)
f_v	=	tegangan geser maksimum (Mpa)
f_{vt}	=	tegangan geser torsional maksimum (Mpa)
f	=	unit friction resistance (kPa)
g	=	gaya gravitasi, ft/s^2 (m/s^2)
I	=	momen inersia (m^4)
I_p	=	momen polar inersia (m^4)

K	=	faktor panjang efektif
KC	=	Keugelan Carpenter
k	=	angka gelombang (1/m)
l	=	<i>unbraced length</i> (m)
M	=	momen lentur (Nm)
M _t	=	momen torsi (Nm)
n	=	jumlah pengamatan
P	=	gaya tarik (N)
q	=	<i>units and bearing capacity</i> (kPa)
Q _d , Q _{ult}	=	ultimate bearing capacity (KN)
Q _f	=	<i>skin friction resistance</i> (KN)
Q _p	=	<i>total and bearing</i> (KN)
Re	=	<i>Reynold number</i>
R ²	=	koefisien determinasi
r	=	jari – jari girasi (m)
S	=	modulus penampang
SF	=	<i>safety factor</i>
SSE	=	<i>Sum Square Error</i>
SST	=	<i>Sum Square Trend</i>
T	=	Periode gelombang, (s)
t	=	ketebalan (m)
u	=	kecepatan horizontal partikel gelombang, (m/s)
V	=	tegangan geser transversal (MN)
v	=	viskositas kinematis fluida
y	=	jarak dari sumbu netral ke serat terjauh (m)
ρ	=	massa jenis air laut = 1025 kg/m ³
σ	=	tegangan normal (N/m ²)
φ	=	potensial kecepatan (m/s ²)
λ	=	panjang gelombang (m)



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Permasalahan

Kemajuan dan perkembangan dunia tidak bisa lepas dari peningkatan penggunaan energi. Berbagai sumber energi telah ditemukan dan digunakan dalam kehidupan peradaban manusia, baik yang bersifat pemanfaatan langsung ataupun dengan suatu proses yang panjang dan rumit. Meskipun telah ditemukan dan digunakan sumber-sumber energi yang lain, penggunaan sumber energi sampai saat ini masih tetap mengandalkan adanya bahan bakar minyak dan gas. Kondisi yang demikian mendorong eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi yang lebih besar. Indonesia merupakan salah satu negara OPEC dan devisa negara yang utama adalah dari hasil gas dan minyak bumi. Selain itu, Indonesia merupakan wilayah yang memiliki banyak perairan baik itu perairan dangkal maupun perairan dalam. Sehingga diperlukan suatu struktur yang sesuai untuk kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi dan gas alam di lepas pantai.

Untuk memenuhi tuntutan kebutuhan akan struktur yang lebih efisien baik dari segi teknis maupun ekonomis, kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi dan gas alam di lepas pantai terus senantiasa berkembang. Struktur terpancang dari *offshore platform* seperti *jacket* sangat cocok diterapkan di perairan dangkal, karena dalam penggunaannya lebih efisien bila dibandingkan dengan struktur *semi submersible*. Oleh karena itu efisiensi dari struktur terpancang sangatlah diperlukan. Untuk menentukan efisiensi suatu struktur terpancang diantaranya dapat dilakukan dengan pemilihan konfigurasi kaki *jacket* struktur terpancang selama struktur yang ditinjau masih memenuhi persyaratan kelayakan struktur. Diperlukan evaluasi sensitivitas terhadap respon struktur untuk mengubah parameter – parameter yang melibatkan kegiatan penting desain yang tidak dapat dengan mudah dilakukan melalui rangkaian analisa terperinci dimana data dan penilaiannya dapat dijadikan acuan yang berguna bagi desain dengan beberapa parameter (G. D. Hahn, 1992).

I.2 Perumusan Masalah

1. Pengaruh variasi beban gelombang dan beban *payload* terhadap tegangan struktur untuk konfigurasi kaki *jacket tripod*.
2. Pengaruh variasi beban gelombang dan beban *payload* terhadap tegangan struktur untuk konfigurasi kaki *jacket tetrapod*.

I.3 Tujuan

1. Menentukan sensitivitas tegangan pada *deck* dan *jacket* yang terjadi pada kedua tipe konfigurasi kaki *jacket* akibat variasi beban gelombang dan beban *payload*.
2. Menentukan sensitivitas tegangan pada *pile* yang terjadi pada kedua tipe konfigurasi kaki *jacket* akibat variasi beban gelombang dan beban *payload*.
3. Menggambarkan sensitivitas tegangan struktur yang terjadi pada kedua tipe konfigurasi kaki *jacket* melalui suatu grafik.

I.4 Manfaat

1. Dapat menentukan pengaruh tegangan akibat variasi beban gelombang dan beban *payload* terhadap konfigurasi kaki *jacket tripod* dan *tetrapod*.
2. Dapat menggunakan struktur terpancang menurut konfigurasi kaki *jacket* yang lebih baik ditinjau dari segi teknis dan dapat sebagai acuan dalam penilaian ekonomis struktur.

I.5 Batasan Masalah

Untuk memperkecil ruang lingkup dari permasalahan, maka permasalahan akan dibatasi pada hal – hal berikut :

1. Analisa yang dilakukan adalah analisa statis dan analisa tiang pancang.
2. Beban yang bekerja pada struktur adalah beban gelombang dan *payload*.
3. Perhitungan beban gelombang menggunakan persamaan *Morison*.
4. Tugas akhir ini akan menggunakan struktur *ZUF Jacket Platform* dan *LES-A Jacket Platform* sebagai studi kasus.
5. Dalam melakukan analisa perhitungan tugas akhir ini menggunakan bantuan *software GT Strudl* dan *GT Selos*.
6. Kriteria tegangan yang akan ditinjau berdasarkan kriteria tegangan yang ditetapkan oleh *API RP2A - WSD*.
7. Kondisi pembebanan yang digunakan adalah kondisi pada saat operasi.

8. Pada variasi beban *payload*, *Load Case* yang di kalibrasi adalah *main deck*, *cellar deck*, dan *self weight* hingga kondisi kritis. Sedangkan pada variasi beban gelombang, yang di variasikan adalah tinggi gelombangnya hingga *air gap*.
9. Teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang Stokes Ordo 5.

I.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penyusunan dan pembahasan laporan Tugas Akhir disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi mengenai dasar teori yang menunjang penelitian, diperoleh dari buku *literature*, jurnal, *website*, dan hasil penelitian sebelumnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan pemodelan beban struktur yaitu beban gelombang dan beban *payload*. Pada bab ini juga akan dibahas cara memodelkan struktur ZUF dan LES-A dengan GT *Strudl*. Data-data pendukung untuk melakukan pemodelan beban dan struktur juga dicantumkan.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Membahas data-data *output* dari pemodelan berupa tegangan pada *deck*, *jacket*, dan *pile* akibat variasi tinggi gelombang dan *payload* serta menyajikannya dalam bentuk grafik.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Pendahuluan

Pada suatu proses perancangan bangunan lepas pantai untuk menentukan kemampuan kerja suatu struktur akan dipengaruhi oleh beban yang terjadi pada bangunan tersebut. Sehingga perancang harus menentukan akurasi atau ketepatan beban yang akan diterapkan dalam perancangan (McClelland, 1986). Penentuan beban kerja ini harus memperhatikan aspek ekonomis dan keselamatan. Beban kerja yang ditentukan dalam perancangan tidaklah terlalu besar, yakni tidak melebihi kondisi sebenarnya. Sehingga struktur yang dibangun menjadi kuat, tetapi biaya struktur akan menjadi meningkat, terutama dalam penggunaan material yang berlebihan. Oleh karena itu perlu untuk mengetahui jenis – jenis beban yang bekerja pada struktur lepas pantai, sifat – sifat dari beban yang bekerja, dan respon yang terjadi akibat beban – beban tersebut. Suatu *jacket structure* tentu akan menerima beban - beban yang meliputi : beban mati (*dead loads*), beban hidup (*live loads*), dan beban lingkungan (*environmental loads*).

Beban mati adalah beban dari komponen – komponen kering serta beban – beban dari peralatan, perlengkapan, dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada suatu bangunan lepas pantai. Beban hidup adalah beban yang terjadi pada bangunan lepas pantai selama berfungsi dan tidak berubah dari mode operasi satu ke mode operasi yang lain. Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu bangunan lepas pantai dioperasikan (Soedjono, 1998). Beban lingkungan yang paling dominan pada struktur *jacket* selama kondisi operasi sangat dipengaruhi oleh beban gelombang air laut. Untuk perhitungan gaya gelombang pada bangunan lepas pantai maka sering digunakan persamaan *Morison* (Chakrabarti, 1987).

II.2 Sensitivitas

Pada akhir dekade ini sensitivitas dipelajari secara intensif untuk menyelesaikan permasalahan – permasalahan yang melibatkan fungsi kontinu. Analisa sensitivitas secara umum didefinisikan sebagai investigasi dari potensi perubahan dan kesalahan serta dampaknya terhadap kesimpulan yang digambarkan dari model. Sedangkan yang dimaksud sensitivitas dalam tugas akhir ini adalah kondisi dimana terjadi penambahan (*increment*) beban yang merupakan faktor dari beban itu hingga terjadi *catastropik failure* (kegagalan akibat adanya *buckling*) untuk tiap – tiap struktur dan kecenderungannya dapat digambarkan pada suatu grafik. Ada sejumlah literatur untuk prosedur dan teknik dari analisa sensitivitas dan terdapat banyak kemungkinan untuk menggunakan analisa sensitivitas dalam kategori pengambilan keputusan, komunikasi, pemahaman sistem, dan pengembangan model. Bahkan pendekatan sederhana analisa sensitivitas secara teori akan terpenuhi dalam pengambilan keputusan jika diterapkan dan di interprestasikan dengan cara yang konsisten, misalnya dengan teori pengambilan keputusan *Bayesian* (Pannell, 1997). Dalam proses perancangan atau tahap desain diperlukan evaluasi sensitivitas terhadap respon struktur untuk mengubah parameter – parameter yang melibatkan kegiatan penting dalam desain yang tidak dapat dengan mudah dilakukan melalui rangkaian analisa terperinci dimana data dan penilaiannya dapat dijadikan acuan yang berguna bagi desain dengan beberapa parameter (G. D. Hahn, 1992).

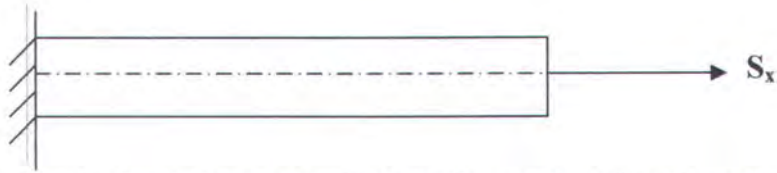
II.3 Tegangan Normal / Aksial (*Normal / Axial Stress*)

Tegangan normal dapat diakibatkan karena dua hal yaitu yang disebabkan oleh gaya aksial dan lenturan.

- Disebabkan oleh gaya aksial

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Pada gambar 1 batang mengalami pembebanan aksial akibat gaya tarik P. Akibat gaya ini, batang akan mengalami tegangan aksial sebesar (Popov, 1993):



Gambar 1. Pembebanan Aksial Pada Batang Tubular (Popov, 1993)

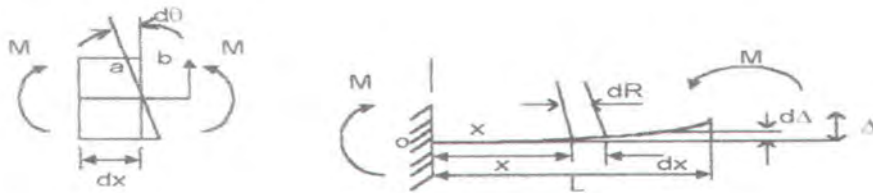
- Disebabkan oleh lenturan, ada dua kondisi lenturan yaitu :

Pada batang lurus
$$\sigma = -\frac{My}{I} \quad (2)$$

Pada lengkung simetris
$$\sigma = \frac{My}{Ae(R-y)} \quad (3)$$

- Disebabkan oleh momen lentur murni.

Selain akibat gaya aksial, tegangan aksial dapat diakibatkan juga oleh momen lentur murni akibat kopel M yang terjadi di setiap ujungnya (gambar 2). Tegangan yang terjadi akibat momen ini dikenal sebagai *bending stress* atau tegangan lentur.



Gambar 2. Pembebanan Momen Kopel Pada Batang Tubular (Popov, 1993)

Dimana :

y = jarak dari sumbu netral ke sembarang titik A pada penampang
(gambar 2)

I_z = momen inersia bidang penampang melintang terhadap sumbu z

Interaksi antara kedua jenis tegangan aksial di atas dalam kaitannya dengan superposisi antara kedua jenis tegangan aksial tersebut, menghasilkan koreksi pada besar tegangan lentur. Pengurangan besar tegangan lentur akibat adanya tegangan tarik dapat diabaikan tetapi pertambahan besar tegangan lentur akibat terbentuknya tegangan *buckling* yang disebabkan oleh tegangan aksial tekan perlu diperhatikan.

II.4 Tegangan Ijin (*Allowable Stress*)

Penentuan tegangan diperlukan untuk memberikan keterangan mengenai ketahanan suatu bahan terhadap tegangan. Gaya yang diperlukan agar terjadi pecah disebut beban ultimat (*ultimate load*). Dengan membagi beban ultimat ini dengan luas penampang akan diperoleh kekuatan ultimat (*ultimate strength*) atau tegangan ultimat (*ultimate strength*) dari suatu bahan. Jadi tegangan ijin adalah tegangan dari suatu bahan yang diperbolehkan untuk diterapkan pada suatu struktur. Tegangan yang berlaku pada struktur *jacket* akan dihitung berdasarkan API RP2A - WSD.

II.4.1 Tegangan Tarik (*Axial Tension*)

$$F = 0,6 F_y \quad (\text{MPa}) \quad (4)$$

Dengan F_y adalah tegangan *yield*

II.4.2 Tegangan Tekan (*Axial Compression*)

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{Kl}{r} \right)^2}{2C_c^2} \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3\left(\frac{Kl}{r} \right)}{8C_c} - \frac{\left(\frac{Kl}{r} \right)^3}{8C_c^3}} F_y \quad \text{untuk } \frac{Kl}{r} < C_c \quad (5)$$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23\left(\frac{Kl}{r} \right)^2} \quad \text{untuk } \frac{Kl}{r} \geq C_c \quad (6)$$

$$C_c = \left[\frac{2\pi^2 E}{F_y} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

II.4.3 Tegangan Bending

$$F_b = 0,75 F_y \quad \text{untuk } \frac{D}{t} \leq \frac{10340}{F_y} \quad (8)$$

$$F_b = \left[0,84 - 1,74 \frac{F_y D}{E_t} \right] F_y \quad \text{untuk } \frac{10340}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{20680}{F_y} \quad (9)$$

$$F_b = \left[0,72 - 0,58 \frac{F_y D}{E_t} \right] F_y \quad \text{untuk } \frac{20680}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300 \quad (10)$$

II.4.4 Tegangan Geser (*Shearing Stress*)

Gaya – gaya yang dihantarkan dari sebuah bagian benda kepada yang lainnya adalah dengan menimbulkan tegangan – tegangan dalam bidang yang sejajar dengan gaya terpakai. Untuk itu gaya – gaya dihantarkan melalui tiap luas potongan yang bersangkutan. Jadi dengan menganggap bahwa tegangan yang bekerja dalam bidang potongan – potongan akan didistribusikan secara merata.

II.4.4.1 Tegangan Geser Beam Maksimum

$$f_v = \frac{V}{0,5A} \quad (11)$$

II.4.4.2 Tegangan Geser Beam Ijin

$$f_v = 0,4F_y \quad (12)$$

II.4.5 Tegangan Geser Torsional

II.4.5.1 Tegangan Geser Torsional Maksimum

$$f_{vt} = \frac{M_t \left(\frac{D}{2} \right)}{I_p} \quad (13)$$

II.4.5.2 Tegangan Geser Torsional Ijin

$$f_{vt} = 0,4F_y \quad (14)$$

II.4.6 Tegangan Majemuk Tekan dan Bending

$$\frac{f_a}{0,6F_y} + \frac{\sqrt{f_{xb}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1,0 \quad (15)$$

apabila $\frac{f_a}{F_a} \leq 0,15$, maka

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1,0 \quad (16)$$

II.5 Beban Gelombang Air Laut

Beban gelombang air laut adalah gaya yang bekerja pada struktur akibat pengaruh dari luar. Secara fisis terbentuknya gelombang air laut disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu :

- hembusan angin secara reguler dan periodik diatas permukaan air laut.
- akibat pasang surut air laut
- akibat gempa tektonik
- akibat hempasan dari kapal

Untuk penentuan beban gelombang, maka perlu diketahui gaya gelombangnya terlebih dahulu. Teori yang digunakan untuk perhitungan gaya gelombang *jacket structure* adalah menggunakan persamaan *Morison*.

II.6 Teori Gelombang Stokes Ordo 5

Untuk teori gelombang *Stokes* orde lima persamaan potensial kecepatan dapat dituliskan bentuk deret, yakni :

$$\phi = \frac{c}{k} \sum_{n=1}^5 \lambda_n \cosh nks \sin n\theta \quad (17)$$

dimana koefisien-koefisien *non-dimensional* λ_n dapat dikomputasi dari persamaan-persamaan berikut :

$$\lambda_1 = \lambda A_{11} + \lambda^3 A_{13} + \lambda^5 A_{15} \quad (18)$$

$$\lambda_2 = \lambda^2 A_{22} + \lambda^4 A_{24} \quad (19)$$

$$\lambda_3 = \lambda^3 A_{33} + \lambda^5 A_{35} \quad (20)$$

$$\lambda_4 = \lambda^4 A_{44} \quad (21)$$

$$\lambda_5 = \lambda^5 A_{55} \quad (22)$$

tinggi gelombang orde lima ini mempunyai persamaan spesifik :

$$H = \frac{2}{k} [\lambda + B_{33} \lambda^3 + (B_{35} B_{55}) \lambda^5] \quad (23)$$

menurut teori ini *seleritas* gelombang dapat dituliskan sebagai :

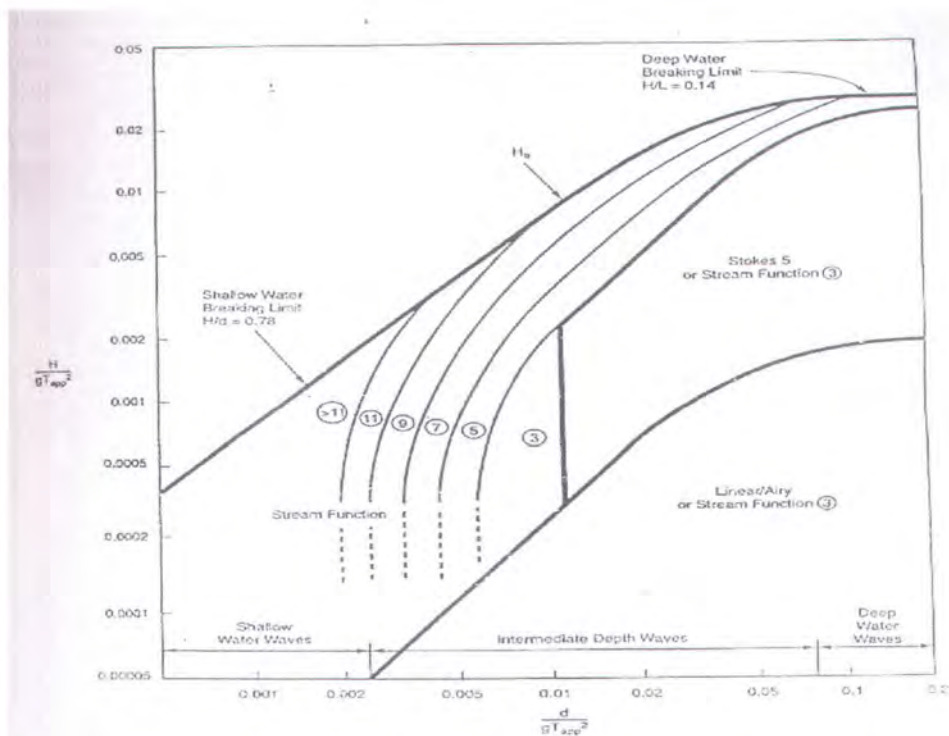
$$c^2 = c_0^2 (1 + \lambda^2 C_1 + \lambda^4 C_2) \quad (24)$$

dimana λ , bersama angka gelombang, k , adalah merupakan variabel belum diketahui. Kuantitas λ dan k akan ditentukan secara iterasi dari persamaan diatas. Bila kemudian Φ telah didapat, maka kinematik partikel gelombang dan tekanan dinamik

dapat dihitung dengan persamaan *Bernoulli*. Koefisien – koefisien A_{ij} , B_{ij} , C_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, 5$) diatas adalah fungsi kd saja.

II.7 Penentuan Teori Gelombang

Teori gelombang yang digunakan dalam perancangan suatu struktur ditentukan berdasarkan *region of validity* menurut *code* yang ada. *Code* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah API RP2A-WSD. Data-data yang diperlukan antara lain: tinggi gelombang (H), periode (T), kedalaman perairan (d). Pada grafik *region of validity*, sumbu X dinyatakan dengan d/gT^2 sedangkan sumbu Y dinyatakan dengan H/gT^2 .



Gambar 3. Grafik Region of Validity (*API RP2A - WSD*, 2000)

II.8 Perhitungan Beban Gelombang

Beban gelombang air laut merupakan beban lingkungan yang paling dominan yang bekerja secara kontinu selama umur dari bangunan lepas pantai. Untuk perhitungan gaya gelombang pada bangunan lepas pantai maka sering digunakan persamaan *Morison*. Asumsi yang dipakai dalam persamaan *Morison* adalah:

- karakteristik gelombang tidak terpengaruh oleh struktur ($D/\lambda < 0.2$).
- beban gelombang yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu silinder.

- Interfensi diantara struktur member diabaikan, seperti gaya yang terjadi pada seluruh stuktur dihitung dengan jelas dan ditambahkan pada gaya yang terjadi di setiap elemen struktur.
- Pengaruh gaya *Froude-Krylov* diabaikan sedang gaya inersia dan gaya *drag* diasumsikan linear.

Beban gelombang = gaya inersia + gaya *drag*

$$F_w = F_i + F_d \quad (25)$$

Gaya inersia akibat fluida

- Gaya massa tambah
- Gaya *froude krylov* (FK)

Gaya massa tambah terjadi jika ada percepatan relatif antara benda (struktur) dan fluida tanpa memandang yang mana yang bergerak (fluida atau bendanya atau keduanya). Beban gelombang yang bekerja pada kaki *jacket* dihitung dengan persamaan *Morison*:

$$F = F_D + F_I \quad (26)$$

F_D dan F_I adalah gaya *drag* dan inersia per satuan panjang, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A \cdot \dot{u} \cdot \dot{u} \quad (27)$$

$$F_I = \rho \cdot C_I \cdot V \cdot \ddot{u} \quad (28)$$

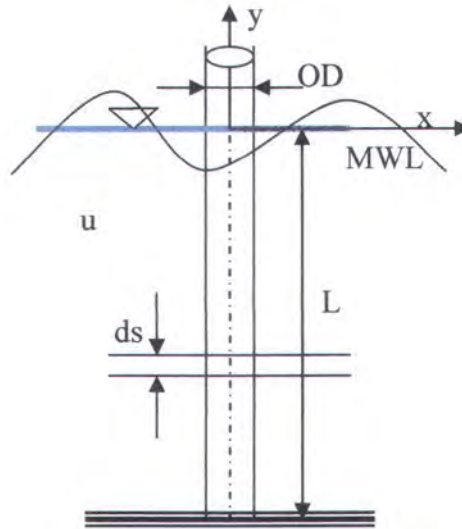
Gaya gelombang yang bekerja pada benda kaku diam (persamaan *Morison*), untuk silinder tegak:

$$F_w = \int_0^z (F_d + F_i) dz \quad (29)$$

$$F_w = \int_0^z \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot D \cdot u |u| + \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \rho \cdot C_m \cdot a_x \right) dz$$

Untuk me-*linear*-kan suku $u |u|$ pada persamaan Gaya *Drag* memakai formulasi sebagai berikut:

$$u |u| = \frac{8}{3 \cdot \pi} \cdot u^2 \quad (30)$$



Gambar 4. Aplikasi Persamaan *Morison* pada Silinder Tegak

Persamaan gaya gelombang dengan menggunakan persamaan *Morison* pada silinder miring (Chakrabarti, 1987):

Untuk perhitungan beban gelombang pada *Brace* baik *Horizontal* maupun *Diagonal Brace* digunakan rumus Morrison yang telah dimodifikasi untuk menghitung gaya gelombang pada silinder miring dengan arah sembarang. Dalam rumusan ini kecepatan dan percepatan diuraikan menjadi dua (2) komponen, yaitu normal dan tangensial terhadap sumbu aksis lokal silinder, tetapi dalam aplikasinya hanya komponen normal saja yang digunakan untuk menghitung besarnya gaya gelombang.

Silinder akan dilalui oleh partikel air yang mempunyai kecepatan horizontal u dan kecepatan vertikal v , percepatan horizontal a_x , dan percepatan vertikal a_y . Dengan menggunakan transformasi sumbu koordinat dapat ditentukan arah silinder terhadap masing-masing sumbu koordinat. Harga dari komponen-komponen normal (∇) terhadap silinder aksis adalah :

$$\nabla = \left[u^2 + v^2 - (c_x u + c_y v)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (31)$$

Komponen kecepatan normal yang searah dengan sumbu x , t , dan z berturut-turut adalah :

$$\begin{aligned} u_n &= u - c_x (c_x u + c_y v) \\ v_n &= v - c_y (c_x u + c_y v) \\ w_n &= -c_z (c_x u + c_y v) \end{aligned} \quad (32)$$

dimana :

$$\begin{aligned} c_x &= \sin \phi \cdot \cos \theta \\ c_y &= \cos \theta \\ c_z &= \sin \phi \cdot \sin \theta \end{aligned} \quad (33)$$

Komponen percepatan normal dalam arah x, y, dan z diberikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a_{nx} &= a_x - c_x (c_x a_x + c_y a_y) \\ a_{ny} &= a_y - c_y (c_x a_x + c_y a_y) \\ a_{nz} &= -c_z (c_x a_x + c_y a_y) \end{aligned} \quad (34)$$

Dengan demikian rumusan Morison untuk gaya per satuan panjang untuk masing-masing sumbu menjadi :

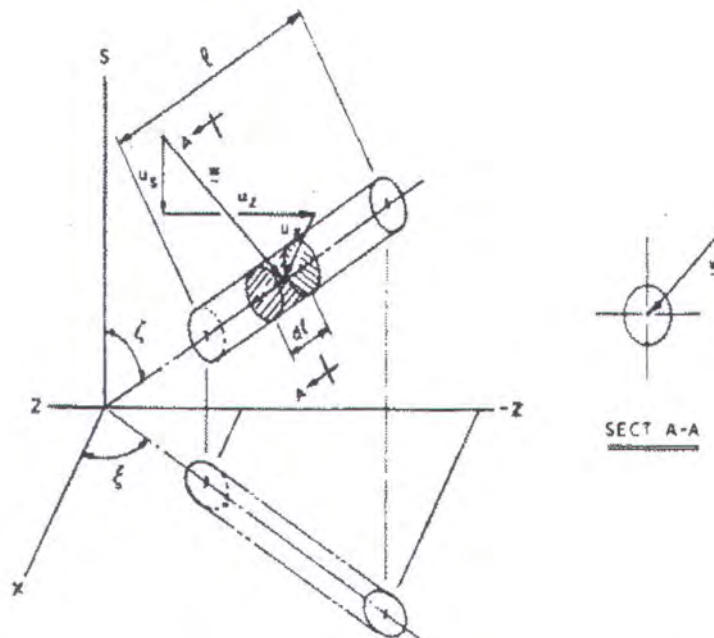
$$\begin{aligned} \partial F_x &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Cd \cdot D \cdot \nabla \cdot u_n + \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot \pi \cdot D^2 \cdot Cm \cdot a_{nx} \\ \partial F_y &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Cd \cdot D \cdot \nabla \cdot v_n + \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot \pi \cdot D^2 \cdot Cm \cdot a_{ny} \\ \partial F_z &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Cd \cdot D \cdot \nabla \cdot w_n + \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot \pi \cdot D^2 \cdot Cm \cdot a_z \end{aligned} \quad (35)$$

Gaya yang bekerja sepanjang pipa diperoleh dengan jalan mengintegalkan gaya per satuan panjang pada persamaan di atas sepanjang pipa silinder, menjadi :

$$\begin{aligned} F_x &= \int \partial F_x ds \\ F_y &= \int \partial F_y ds \\ F_z &= \int \partial F_z ds \end{aligned} \quad (36)$$

Pada akhirnya didapatkan bahwa gaya total yang bekerja pada silinder adalah :

$$F = \left(F_x^2 + F_y^2 + F_z^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (37)$$



Gambar 5. Aplikasi Persamaan Morison pada Silinder Miring (Chakrabarti, 1987)

II.9 Penentuan Koefisien *Drag* (C_D), Koefisien Massa Tambah (C_M), dan Faktor Kinematik

Untuk menentukan besarnya C_D dan C_M dari suatu struktur sangat tergantung dari angka *Reynold* (Re), angka *Keugelan-Carpenter* (KC), bentuk struktur, mode gerakan, dan kekasaran struktur (*marine growth*). Penelitian di laboratorium yang dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara C_D dan C_M dengan *Reynold Number* (Re) dan *Keulegan-Carpenter Number*. Percobaan dilakukan dengan meletakkan silinder pada bagian horisontal dari *U-Tube* dan air di dalam kolom *U-Tube* digerakkan secara teratur melewati silinder. Hasil percobaan itu menunjukkan C_D dan C_M pada silinder halus adalah fungsi Re dan KC (Sarpkaya, 1976).

$$Re = \frac{uD}{\nu}$$

$$KC = \frac{uT}{D}$$



(38)

(39)

Desainer harus dapat menerapkan nilai koefisien hidrodinamis sesuai dengan keadaan sebenarnya di lapangan. Beberapa perusahaan mempunyai cara tersendiri dalam menentukan koefisien hidrodinamis. Salah satunya adalah yang direkomendasikan oleh API RP2A – WSD,

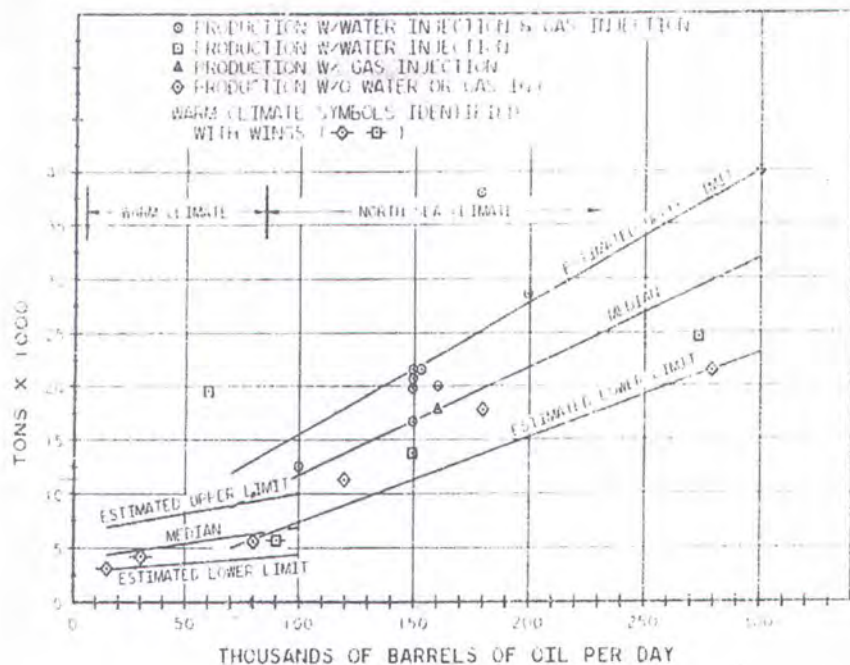
$C_D = 0.65,$ $C_M = 1.6$ *Smooth members*

$C_D = 1.05,$ $C_M = 1.2$ *Rough members*

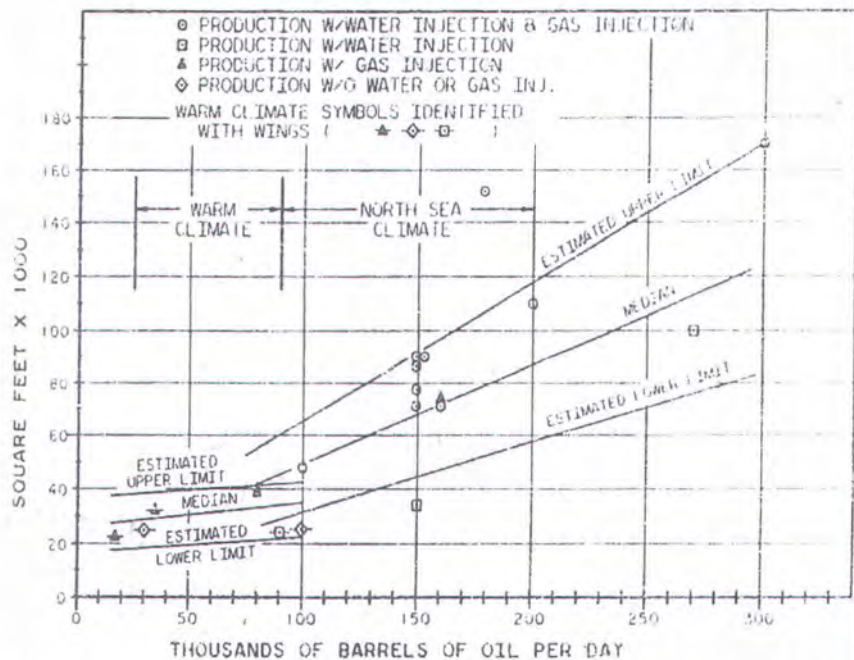
Kinematika gelombang reguler dua dimensi dari *stream function* atau Stokes orde 5 tidak dapat menghitung persebaran arah gelombang atau gelombang irreguler. Hal ini sesuai dengan karakteristik gelombang yang dapat dihitung dengan analisa gelombang *deterministik* yang merupakan perkalian antara kecepatan horisontal dan percepatan dari penyelesaian gelombang reguler dua dimensi dengan menggunakan faktor kinematika gelombang. Faktor kinematika gelombang mempunyai rentang nilai 0.85 – 0.95 (untuk badai tropis) dan 0.95 – 1.00 (untuk badai tropis besar).

II.10 Penentuan Beban *Payload*

Besar kecilnya kandungan minyak dalam *reservoir* mempengaruhi besar *payload*, karena besar kecilnya *reservoir* ini secara langsung maupun tidak langsung mempengaruhi luas bangunan atas struktur, peralatan – peralatan dan beban hidup struktur. Perkiraan besarnya *payload* berdasarkan gambar 6 dimana besarnya beban merupakan fungsi dari laju produksi minyak setiap hari. Dengan produksi minyak sebesar 120 000 barel per hari maka diperoleh besarnya beban antara 13 000 hingga 14 500 ton.



Gambar 6. Perkiraan Berat Geladak Sebagai Fungsi dari Produksi Minyak Rata – Rata per Hari (McClelland, 1986)



Gambar 7. Perkiraan Luas Geladak Sebagai Fungsi dari Produksi Minyak Rata – Rata per Hari (McClelland, 1986)

II.11 Analisa Pondasi *Pile*

Analisa pondasi *pile* untuk platform struktur pada tugas akhir ini, analisa *superstructure*-nya didisain dengan program analisa struktur *GT-Strudl* versi 27. Dan metode disainnya berdasarkan API RP 2A WSD.

II.11.1 Parameter Tanah

Perhitungan *bearing capacity pile* untuk *platform* struktur, diambil dari data tanah data P-Y pada masing – masing daerah.

II.11.2 Kriteria Disain

1. Perencanaan *bearing capacity pile* dihitung dengan rumus – rumus yang ditetapkan oleh API RP 2A WSD.
2. Deskripsi pondasi *pile* terdiri dari diameter dan kekuatan.
3. Karena kekuatan material *pile* dianalisa dari struktur *platform*, tidak ada perhitungan untuk material.
4. Program analisa struktur *GT-Strudl* versi 27 menganalisa kekuatan struktur *pile* akibat beban lateral.

II.11.3 Beban Pada *Pile*

Gaya dan momen yang bekerja pada *pile* diambil dari analisa struktur atas sebagai *output* dari analisa *GT-Strudl* untuk struktur *deck*.

II.11.4 Perhitungan Penetrasi *Pile*

Pondasi *pile* akan berada pada kondisi aman jika,

$$Q_{\text{design}} \geq P_{\text{actual}} \quad (40)$$

$$Q_{\text{design}} = \frac{Q_{\text{ult}}}{\text{SF}} \quad (41)$$

Dengan SF (*Safety Factor*) yang ditetapkan oleh API RP 2A WSD.

SF = 2.0 untuk kondisi normal (operasi)

SF = 1.5 untuk kondisi *ultimate* (badai)

Rumus *bearing capacity* diberikan sebagai berikut:

$$Q_{\text{ult}} = Q_f + Q_p \quad (42)$$

$$Q_f = \sum_{i=1}^n f_e \cdot A_e + \sum_{i=1}^n f_i \cdot A_i \quad (43)$$

$$Q_p = q \cdot A_p \quad (44)$$

$$A_{ei} = \pi \times D \times h_i$$

dimana: h_i = *layer thickness of soil* (m)

D = *pile outside diameter* (m)

$$A_{ii} = \pi \times (D-2t) \times h_i$$

dimana: t = *pile wall thickness* (m)

n = *number of soil layers*

A_p = *cross sectional area of pile tip* (m²)

$$= \pi \times t \times (D-t)$$

II.12 Metode Analisa Pada *GT-Strudl*

II.12.1 Pengenalan

GT-Strudl adalah program analisa struktur yang dikembangkan oleh sekolah Teknik Sipil, *Georgia Institute of Technology*, Atlanta, Georgia, USA. Metode analisa dari *deck* dan *jacket* pada tugas akhir ini terdiri dari pemodelan struktur, kondisi pembebanan dan kombinasinya, *in-place static analysis*, and analisa *pile*.

II.12.2 Pemodelan

Pemodelan disusun dari frame *deck* primer dan sekunder serta kolom *deck* dan *bracing*. *GT STRUDL* secara umum memperlakukan suatu struktur sebagai model analitis yang terdiri dari sejumlah elemen yang dihubungkan pada sejumlah *joint*.

II.12.3 Pembebanan

Semua beban yang bekerja pada struktur didefinisikan satu atau lebih kondisi pembebanan independen (*independent loading conditions*). Pada analisa kondisi pembebanan ini terdiri dari *self weight loads*, *appurtenance loads*, *live loads*, *equipment loads*, *pipng loads*, *electrical & instrument loads*, beban angin, beban gelombang and beban arus laut. Untuk beban angin, gelombang dan arus dilakukan dengan *GT-Selos*. Untuk beban angin dan arus pada tugas akhir ini diabaikan.

Kombinasi pembebanan adalah kombinasi dari beberapa kondisi pembebanan pada analisa struktur. Kombinasi pembebanan pada tugas akhir ini terdiri dari *load case* operasi.

II.12.4 In Place State Analysis (Analisa Statis)

Analisa statis diperlukan untuk mengetahui kondisi pembebanan yang menyebabkan timbulnya tegangan paling kritis. Beban lateral dan vertikal dikombinasikan berdasarkan kondisi *Progressive Collapse Limit State (PCLS)*, dimana semua koefisien beban sama dengan 1.0 pada kondisi operasi. Beban-beban kombinasi yang terbentuk dari beban diatas dek dan 12 arah gelombang, kemudian dilakukan *stress check*. Dari hasil *stress check* tersebut akan diketahui kondisi beban paling kritis, yang kemudian kondisi beban ini akan dijadikan acuan untuk analisa selanjutnya.

Perintah yang digunakan adalah *Stiffness Analysis*. Tegangan yang digunakan dihitung sebagai berikut :

$$\text{Axial Stress} \quad : \quad f_a \quad = \quad F_x/A_x \quad (45)$$

$$\text{Sheer Stress} \quad : \quad f_{vy} \quad = \quad F_y/A_y \quad (46)$$

$$f_{vz} \quad = \quad F_z/A_z \quad (47)$$

$$\text{Bending Stress : } f_{by} = My/SY \quad (48)$$

$$f_{bz} = Mz/SZ \quad (49)$$

$$\text{Combined Stress : } f_{comb} = f_a + f_{by} + f_{bz} \quad (50)$$

Kenaikan tegangan yang diijinkan : *In-place operating condition* 1.0

In-place 100 year storm condition 1.333

Output dari combined stress member diperiksa terhadap tegangan ijin *member* pada tiap kondisi, berdasarkan AISC untuk *deck beam members* dan API RP2A-WSD untuk *jacket tubular members*.

II.13 Koefisien Determinasi (R^2)

Untuk mengetahui sampai seberapa jauh ketepatan atau kecocokan garis regresi yang terbentuk dalam mewakili kelompok data hasil observasi. Maka perlu dilihat sampai seberapa jauh model yang terbentuk dapat menerangkan kondisi yang sebenarnya (Sugiarto, 1992). Dalam analisa regresi dikenal suatu ukuran yang dapat dipergunakan untuk keperluan tersebut, yang dikenal dengan nama koefisien determinasi (R^2). Bila nilai koefisien determinasi sama dengan satu, berarti garis regresi yang terbentuk cocok secara sempurna. Rentang nilai R^2 adalah $0 \leq R^2 \leq 1$

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (51)$$

$$\text{dimana : } SSE = \sum (Y - \hat{Y})^2 \quad SST = \left(\sum Y^2 \right) - \frac{(\sum Y)^2}{n}$$

Adapun kegunaan koefisien determinasi (R^2) adalah :

1. sebagai ukuran ketepatan/kecocokkan garis regresi yang dibuat dari hasil pendugaan terhadap sekelompok data hasil observasi. Makin besar nilai R^2 , semakin bagus garis regresi yang terbentuk dan sebaliknya makin kecil nilai R^2 makin tidak tepat garis regresi tersebut mewakili data hasil observasi.
2. untuk mengukur besar persentase dari jumlah ragam Y yang diterangkan oleh model regresi.



BAB III

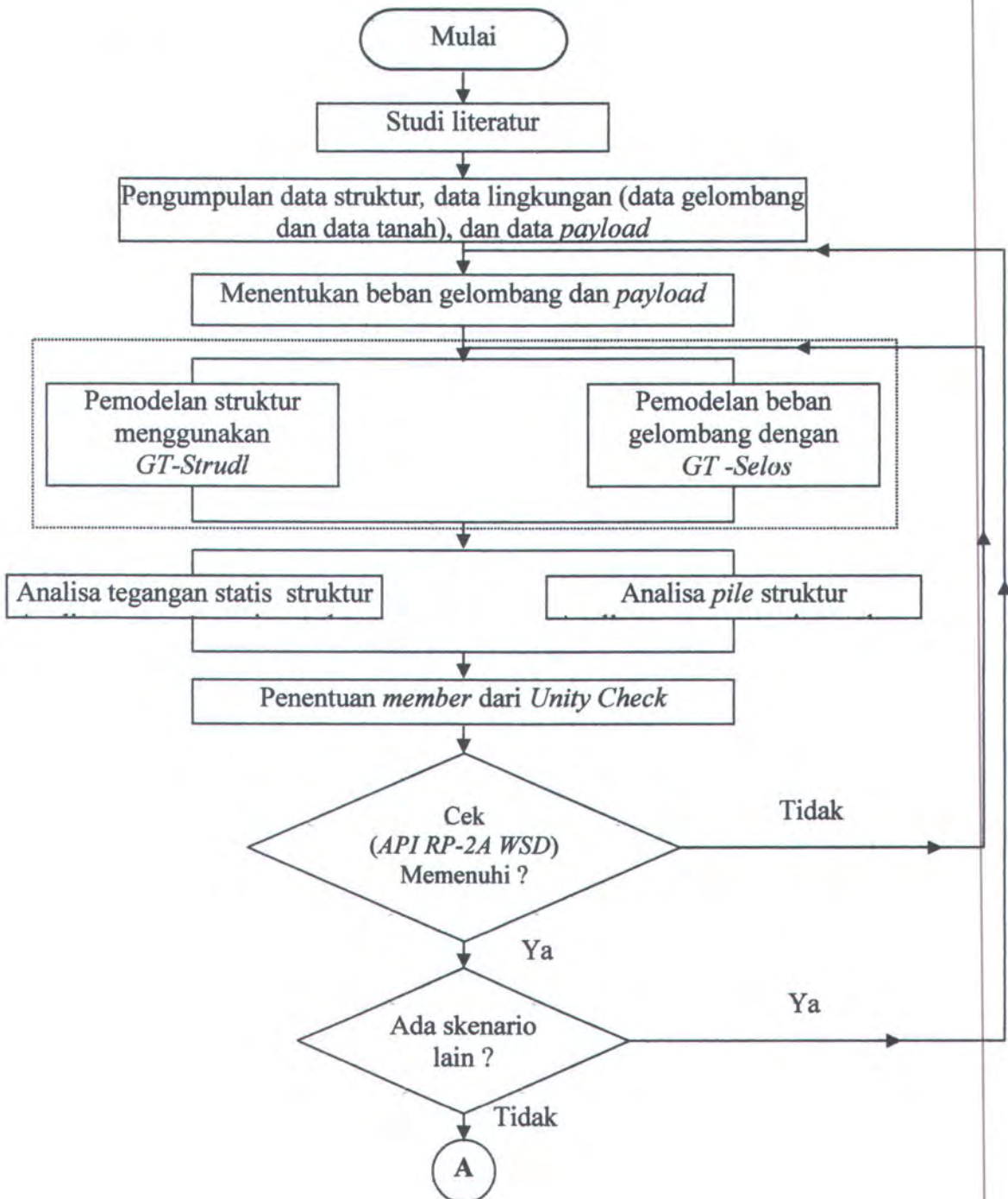
METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

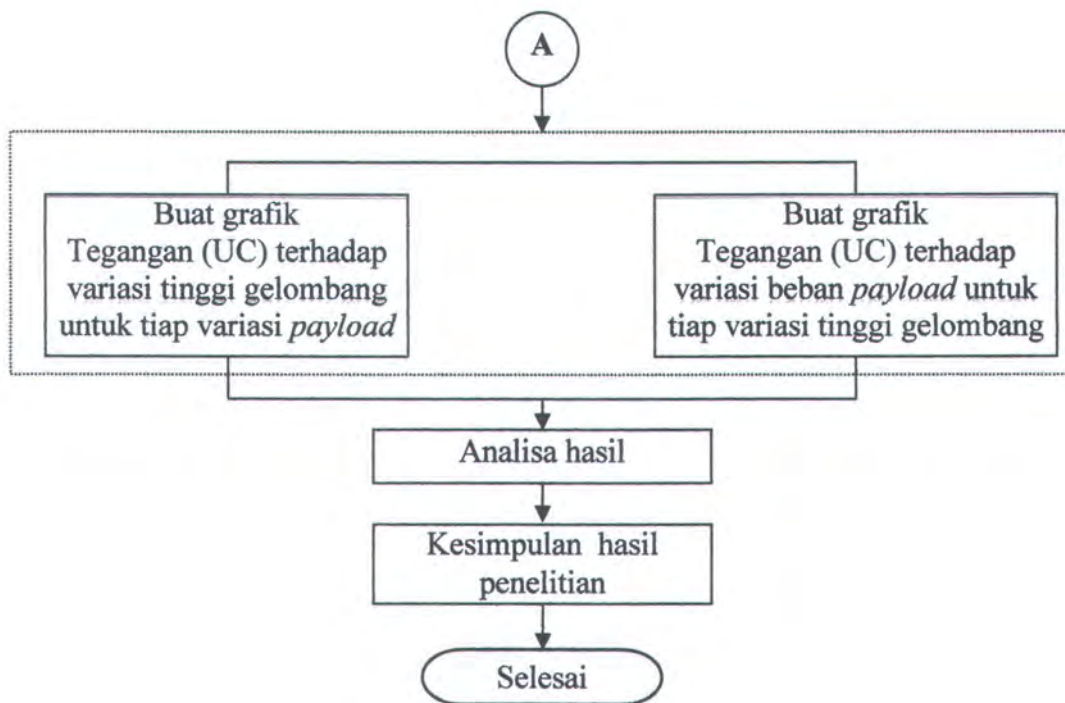
METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Flowchart

Metodologi yang digunakan pada tugas akhir ini meliputi langkah – langkah sebagai berikut :



Gambar 8. Alur Metodologi penelitian



Gambar 8. Alur Metodologi penelitian (Lanjutan)

III.2 Uraian

Secara singkat bagan alur urutan kegiatan diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Kegiatan ini dibagi menjadi dua tahap yaitu tahap analisa statis dan tahap analisa *pile*. Tahapan pertama dimulai dengan studi literatur dari beberapa sumber yang berkaitan dengan topik studi ini .
2. Dari studi literatur akan didapatkan teori - teori dan dasar-dasar yang digunakan dalam penelitian yang akan dianalisa
3. Dilakukan pengumpulan data berupa data struktur, data lingkungan (data gelombang), dan data *payload* untuk konfigurasi kaki *jacket* tipe *tripod* atau *tetrapod*.
4. Kemudian menentukan beban gelombang dan *payload* yang digunakan untuk sebagai *input* dalam pemodelan menggunakan *GT – Selos* dan *GT - Strudl*.
5. Pada tugas akhir ini parameter – parameter yang dilakukan sebagai pantauan adalah parameter beban gelombang (dengan variasi tinggi gelombang) dan parameter *payload* (dengan variasi *payload*). Kriteria dari parameter tersebut adalah tingkat keamanan (*safe / fail*) struktur terhadap variasi *payload* dan variasi tinggi gelombang dengan melakukan analisa tegangan statis (untuk

mengetahui kondisi pembebanan yang menyebabkan timbulnya tegangan paling kritis dengan melihat *Unity Check* atau *Stress Check* dari tiap member) yang mengacu pada *API RP2A - WSD*.

6. Jika verifikasi member menunjukkan hasil yang menyatakan bahwa hasil *running software* (baik analisa statis maupun analisa *pile*) sesuai dengan teori, variasi beban *payload* dilakukan hingga kondisi kritis dan variasi beban gelombang adalah variasi tinggi gelombang hingga *air gap*. Data tanah digunakan untuk analisa *pile* dan dilakukan pada setiap variasi. Lalu dibuat grafik tegangan terhadap tinggi gelombang dan beban *payload*. Kemudian dianalisa dan ditarik kesimpulan.

III.3 Struktur ZUF Jacket Platform

III.3.1 Data Struktur

Struktur ZUF *Well Platform* merupakan bangunan lepas pantai jenis terpancang di dasar laut (*Fixed Offshore Structure*) yang termasuk dalam struktur *jacket*. Dibangun pada tahun 1986 dengan *lifetime* 10 tahun, spesifikasi dari struktur ZUF ini adalah sebagai berikut :

1. Jenis struktur : *Jacket 4 kaki*
2. Panjang kaki : 43,68 m
3. Jumlah Deck : 3
4. Jumlah *Boat landing* : 1
5. Jumlah Anode : 72
6. Ukuran Main Deck : 18.1864 m x 22.86 m
7. Ukuran Cellar Deck : 15.748 m x 22.86 m

III.3.2 Data Lingkungan

Kondisi lingkungan tempat beroperasinya bangunan lepas pantai sangat mempengaruhi kinerja struktur, maka data lingkungan sangat penting. Data lingkungan di perairan Laut Jawa tempat beroperasinya struktur ZUF ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi : Laut Utara Jawa (*Bima Field Block*)
2. Koordinat : 05⁰21'38.43" S 106⁰32'44.95 E

3. Kedalaman :
- Operasi : 31.6169 m
- Ekstrim : 31.6779 m

4. Tinggi gelombang maksimum :
- kondisi operasi : 5.4864 m
- kondisi ekstrim : 9.8755 m

5. Design water depth kondisi operasi :

Tabel 3.1 *Design Water Depth Kondisi Operasi*

MSL (m)	STORM TIDE (m)	HAT/2 (m)	Water Depth (m)
30.88538	0.09144	0.64008	31.6169

Sumber: ZUF Well Platform – Weight Control Report (September 2002)

6. Design water depth kondisi ekstrim :

Tabel 3.2 *Design Water Depth Kondisi Ekstrim*

MSL (m)	STORM TIDE (m)	HAT/2 (m)	Water Depth (m)
30.88538	0.1524	0.64008	31.6779

Sumber: ZUF Well Platform – Weight Control Report (September 2002)

7. Periode gelombang maksimum :
- Kondisi operasi : 7.3 detik
- Kondisi ekstrim : 9.8 detik

8. Koefisien hidrodinamis :

C_D : 1.05

C_M : 1.2

9. Densitas air laut : 1025 kg/m³

10. Data pile

Diameter pile : 4 piles 30" OD x 1.5 ft wall thickness

Penetrasi pile : 78.0288 m dibawah mudline

III.3.3 Pemodelan Struktur ZUF Well Platform

Pemodelan struktur ZUF *Jacket Platform* menggunakan bantuan *software* GT *Strudl* dan GT *Selos*. *Software* ini merupakan salah satu *software* struktur yang berbasis *Finite Element Method* (FEM). Data yang dipergunakan berasal dari data gambar dan perhitungan struktur ZUF *Jacket Platform* dari laporan desain struktur untuk *requalification* ZUF *Well Platform*.

III.3.4 Pemodelan Struktur Kaki

Struktur kaki struktur ZUF ini dimodelkan secara *detail model* sesuai dengan data gambar yang ada. Pemodelan struktur kaki ini menggunakan bantuan *software* GT *Strudl*. Input data yang dimasukkan untuk pemodelan struktur kaki ini adalah :

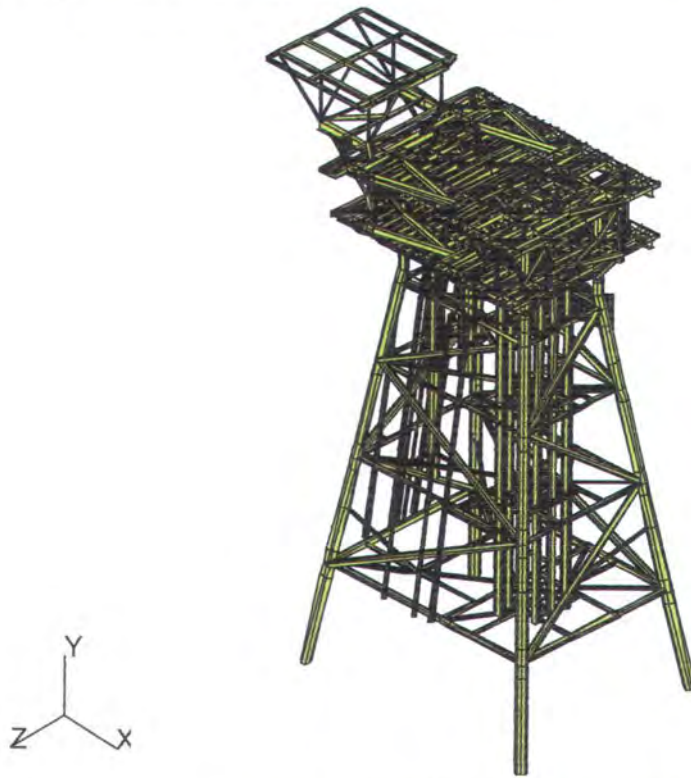
- 1. Dimensi kaki, yang terdiri dari :
 - a. Panjang kaki
 - b. Diameter luar (O.D.) *chord*
 - c. Diameter luar (O.D.) *brace* (horisontal dan diagonal)
 - d. Tebal *chord*
 - e. Tebal *brace* (horisontal dan diagonal)
- 2. Material
 - Jenis : baja *type* A36
 - E (modulus Young) : 2.0389E+7 T/m²
 - G : 7.7337E+6 T/m²
 - Densitas : 7.84173 T/m³
 - Yield stress* : 25.31 KT/m²
 - Ultimate stress* : 80 KT/m²
- 3. Beban vertikal dan horisontal pada *jacket* kondisi ekstrim

Tabel 3.3 Beban Vertikal dan Horisontal pada *Jacket*

Vertical Load	Operating (Kips)
Jacket Weight & Appurtenances	1324.95
Buoyancy	-1452.68
Anodes	10.69
Deck Structure	4786.40
Total	4669.36

III.3.5 Pemodelan Struktur Geladak

Struktur geladak dimodelkan secara utuh, dimana ada 4 geladak yang digunakan dalam *ZUF Well Platform* ini, yaitu: *Helideck*, *Main Deck*, *Cellar Deck*, *WellHead Access*, *Sub Cellar Deck*. Dimana dari keempatnya tersebut mendapat beban masing-masing untuk kondisi operasi.



Gambar 9. *Detailed Model Struktur ZUF*

III.3.6 Pemodelan Beban

Beban pada analisa tegangan ini dibedakan dalam dua arah yaitu beban *payload* yang terdiri dari beban pada deck, beban *self weight* dan beban *live load*, sedangkan beban lateralnya terdiri dari beban gelombang. Beban lateral dan beban *payload* dinaikkan (*increment*), kedua beban tersebut dikalikan faktor beban sebesar 1.05 untuk *payload* dan 0.85 untuk beban lateral (API RP2A - WSD).

III.3.7 Pemodelan Beban Geladak

Pemodelan beban vertikal pada geladak (*deck*) diberikan tiap member struktur geladak yang telah dimodelkan. Beban vertikal yang diberikan merupakan berat geladak itu sendiri ditambah dengan berat peralatan diatas struktur geladak. Beban yang dipakai untuk analisis tegangan ini adalah beban pada kondisi operasi .

Tabel 3.4 Beban Vertikal pada Geladak

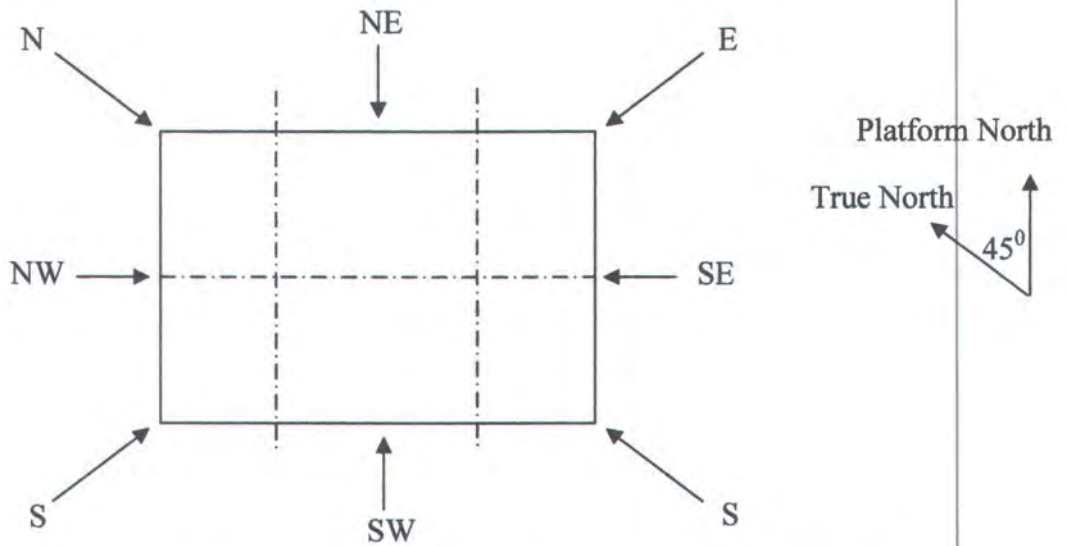
Vertical Load	Operating (kips)
Deck Structure	533.04
Main Deck Area Load	1636.50
Cellar Deck Area Load	1485.47
Sub Cellar Deck	64.64
Helideck	66.14
Wellhead	110
Wellhead Access	37.96
Firewall	0.36
Crane Vertical Load	80
WOR Loads of SEMAR's type	525
Total	4539.11

III.3.8 Pemodelan Beban Gelombang

Pemodelan beban statis pada analisis ini adalah dengan memodelkan beban gelombang delapan arah yang menggunakan *software* GT Selos. Parameter gelombang yang dimasukkan sebagai input data untuk pemodelan beban statis ini adalah sebagai berikut :

1. Teori gelombang
2. Tinggi, periode dan arah gelombang
3. C_D dan C_M

Output yang didapatkan dari pemodelan beban gelombang pada *software* GT Selos dimasukkan ke *software* GT Strudl untuk keperluan analisis lebih lanjut. Dengan arah gelombang 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 , 180^0 , 225^0 , 270^0 , 315^0 .



Gambar 10. Arah Gelombang Untuk Struktur *Jacket* ZUF

III.3.9 Penentuan Teori Gelombang

Langkah awal perhitungan beban gelombang adalah menentukan terlebih dahulu teori gelombang yang sesuai dengan kondisi di lingkungan lokasi Laut Utara Jawa. Teori gelombang di Laut Utara Jawa ditentukan melalui perhitungan dengan menggunakan grafik *region of validity* API RP2A - WSD. Berdasarkan data lingkungan yang ada didapatkan nilai :

$$\frac{d}{gT^2} = \frac{31.6169}{9,81(9,8)^2} = 0,0605$$

$$\frac{H}{gT^2} = \frac{5.4864}{9,81(9,8)^2} = 0,0105$$

berdasarkan nilai diatas maka teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang Stokes orde 5.

III.3.10 Perhitungan Beban Gelombang

Perhitungan beban gelombang ini menggunakan *software* GT *Selos* dengan berdasarkan pada Teori Morison. Perhitungan beban gelombang pada silinder tegak sebagai berikut :

$$F_w = \int_0^z (F_d + F_i) dz$$

$$F_w = \int_0^z \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot D \cdot u|u| + \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \rho \cdot C_m \cdot a_x \right) dz$$

perhitungan beban gelombang pada silinder miring sebagai berikut :

$$F = (F_x^2 + F_y^2 + F_z^2)^{\frac{1}{2}}$$

III.4 Struktur LES-A *Jacket Platform*

III.4.1 Data Struktur

Struktur LES-A *Well Platform* merupakan bangunan lepas pantai jenis terpancang di dasar laut (*Fixed Offshore Structure*) yang termasuk dalam struktur *jacket*. Dibangun pada tahun 1997 di ladang Ardjuna, Laut Jawa Indonesia, spesifikasi dari struktur LES-A ini adalah sebagai berikut :

1. Jenis struktur : *Jacket* 3 kaki
2. Panjang kaki : 135 ft (tegak)
3. Panjang kaki : 138,343 ft (miring)
4. Jumlah Deck : 2
5. Jumlah *Boat landing* : 1
6. Jumlah *Anode* : 38
7. Ukuran *Main Deck* : 43.008 ft x 27.65 ft
8. Ukuran *Wellhead Acces* : 23.706 ft x 16.544 ft

Conductors : 4 x 30" O.D

Risers : 2 x 6" O.D

III.4.2 Data Lingkungan

Kondisi lingkungan tempat beroperasinya bangunan lepas pantai sangat mempengaruhi kinerja struktur, maka data lingkungan sangat penting. Data lingkungan di perairan Laut Jawa tempat beroperasinya struktur LES-A ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi : Ladang Ardjuna, Laut Jawa Indonesia
2. Koordinat : 05° 58' 35.3"S 107° 33' 54.0"E
3. Kedalaman :
Operasi : 87 ft
Ekstrim : 87 ft
4. Tinggi gelombang maksimum :
kondisi operasi : 16.7 ft
kondisi ekstrim : 28,3 ft
5. Periode Gelombang
kondisi Operasi : 6,77 sec
kondisi Ekstrim : 9,4 sec

8. Koefisien hidrodinamis :

C_D : 1,05

C_M : 1,2

9. Densitas air laut : 63,988 pound/ft³

10. Air gap : 11.4 ft

11. Data pile

Diameter pile : 30" OD x 1,000 ft & 1,500 ft

Penetrasi pile : 160 ft (2 *pile*) dan 190 ft (1 *pile*) dibawah mudline

III.4.3 Pemodelan Struktur LES-A Well Platform

Pemodelan struktur LES-A *Jacket Platform* menggunakan bantuan *software* GT *Strudl* dan GT *Selos. Software* ini merupakan salah satu *software* struktur yang berbasis *Finite Element Method* (FEM). Data yang dipergunakan berasal dari data gambar dan perhitungan struktur LES-A *Jacket Platform* dari laporan desain struktur untuk *requalification* LES-A *Well Platform*.

III.4.4 Pemodelan Struktur Kaki

Struktur kaki struktur LES-A ini dimodelkan secara *detail model* sesuai dengan data gambar yang ada. Pemodelan struktur kaki ini menggunakan bantuan *software* GT *Strudl*. Input data yang dimasukkan untuk pemodelan struktur kaki ini adalah :

1. Dimensi kaki, yang terdiri dari :

a. Panjang kaki

b. Diameter luar (O.D.) *chord*

c. Diameter luar (O.D.) *brace* (horisontal dan diagonal)

d. Tebal *chord*

e..Tebal *brace* (horisontal dan diagonal)

2. Material

Jenis : baja *type* A36

E (modulus Young) : 29000 ksi

G : 11200 ksi

Densitas : 489.56 pound/ft³

Yield stress : 36 ksi

Ultimate stress : 58 - 80 ksi

3. Beban vertikal dan horisontal pada *jacket* kondisi ekstrim

Tabel 3.5 Beban Vertikal dan Horisontal pada *Jacket*

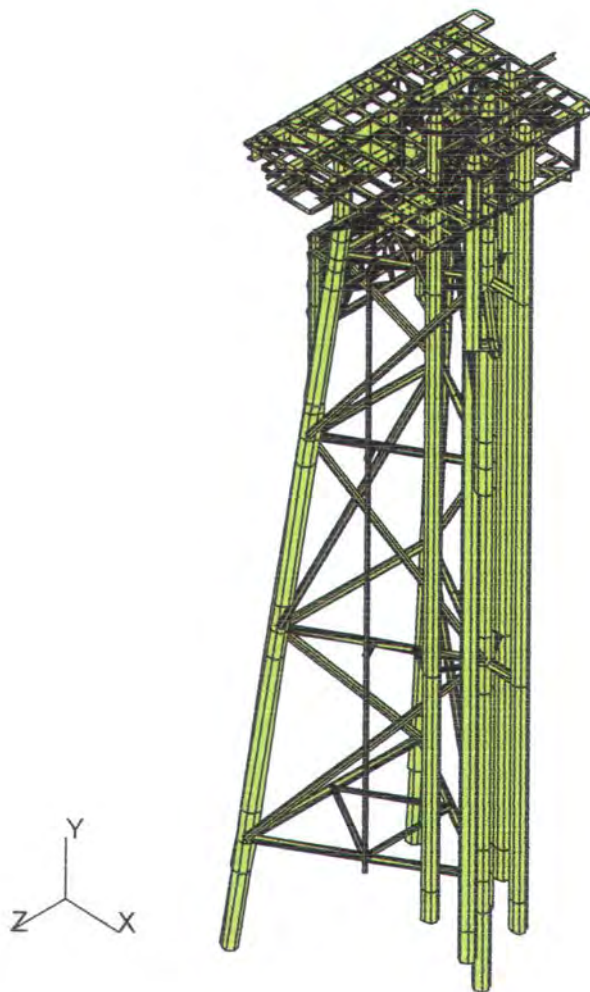
Vertical Load	Operating (kips)
Jacket Weight	136.11
Piles	279.34
Boat Landing	27.9
Riser Support + Conductor Guide	6.64
Deck Structure	69.1
4 Conductors + 2 Riser	128.06
Anodes	10.69
Deck Area Design Load	381.46
Total	1048.53

Beban horisontal pada struktur yang terdiri dari beban gelombang di hitung secara otomatis oleh software *GT Selos*.

III.4.5 Pemodelan Struktur Geladak

Struktur geladak dimodelkan secara utuh, dimana ada 2 geladak yang digunakan dalam *LES-A Well Platform* ini, yaitu: *Main Deck* dan *WellHead Access*. Dimana dari keduanya tersebut mendapat beban masing-masing untuk kondisi operasi.





Gambar 11. Detailed Model Struktur LES-A

III.4.6 Pemodelan Beban

Beban pada analisa tegangan ini dibedakan dalam dua arah yaitu beban *payload* yang terdiri dari beban pada deck, beban *self weight* dan beban *live load*, sedangkan beban lateralnya terdiri dari beban gelombang, angin dan arus. Beban lateral dan beban *payload* dinaikkan (*increment*), kedua beban tersebut dikalikan faktor beban sebesar 1.05 untuk *payload* dan 0.85 untuk untuk beban lateral (API RP2A - WSD).

III.4.7 Pemodelan Beban Geladak

Pemodelan beban vertikal pada geladak (*deck*) diberikan tiap member struktur geladak yang telah dimodelkan. Beban vertikal yang diberikan merupakan berat geladak itu sendiri ditambah dengan berat peralatan diatas struktur geladak. Beban yang dipakai untuk analisis tegangan ini adalah beban pada kondisi operasi.

Tabel 3.6 Beban Vertikal pada Geladak

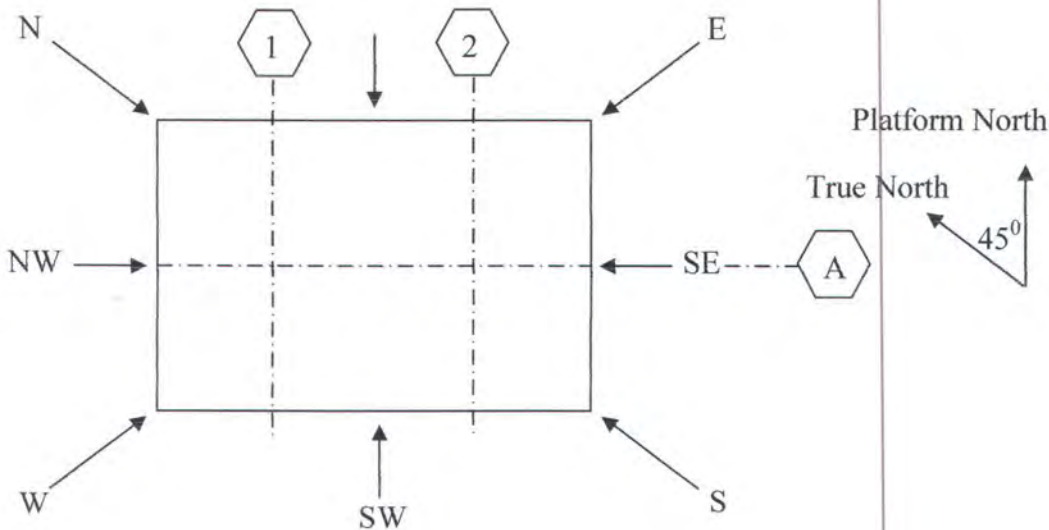
Vertical Load	Operating (Kips)
Deck Structure	69.1
Deck Area Design Load (Equipment, Piping & Live Load)	381.46
Total	450.56

III.4.8 Pemodelan Beban Gelombang

Pemodelan beban statis pada analisis ini adalah dengan memodelkan beban gelombang delapan arah yang menggunakan *software* GT Selos. Parameter gelombang yang dimasukkan sebagai input data untuk pemodelan beban statis ini adalah sebagai berikut :

- 1. Teori gelombang
- 2. Tinggi, periode dan arah gelombang
- 3. C_D dan C_M

Output yang didapatkan dari pemodelan beban gelombang pada *software* GT Selos dimasukkan ke *software* GT Strudl untuk keperluan analisis lebih lanjut. Dengan arah gelombang 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , dan 315° .



Gambar 12. Arah Gelombang Untuk Struktur Jacket LES-A

III.4.9 Penentuan Teori Gelombang

Langkah awal perhitungan beban gelombang adalah menentukan terlebih dahulu teori gelombang yang sesuai dengan kondisi di lingkungan lokasi Laut Utara Jawa. Teori gelombang di Laut Utara Jawa ditentukan melalui perhitungan dengan menggunakan grafik *region of validity* API RP2A - WSD. Berdasarkan data lingkungan yang ada didapatkan nilai :

$$\frac{d}{gT^2} = \frac{87}{32.18(6.77)^2} = 0,0589$$

$$\frac{H}{gT^2} = \frac{16.7}{32.18(6.77)^2} = 0.0113$$

berdasarkan nilai diatas maka teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang Stokes orde 5.

III.4.10 Perhitungan Beban Gelombang

Perhitungan beban gelombang ini menggunakan *software* GT Selos dengan berdasarkan pada Teori Morison. Perhitungan beban gelombang pada silinder tegak sebagai berikut :

$$F_w = \int_0^z (F_d + F_i) dz$$
$$F_w = \int_0^z \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot D \cdot u|u| + \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \rho \cdot C_m \cdot a_x \right) dz$$

perhitungan beban gelombang pada silinder miring sebagai berikut :

$$F = \left(F_x^2 + F_y^2 + F_z^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

IV.1 Struktur ZUF Jacket Platform

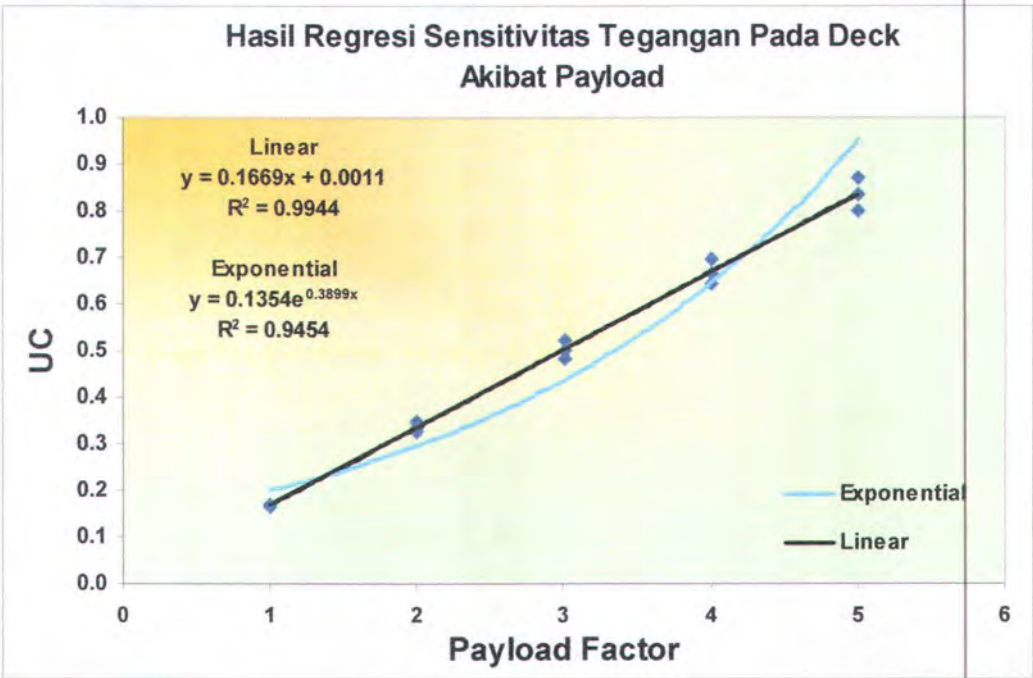
IV.1.1 Output dari Payload Factor

a. Member Stress Check

Tabel 4.1 Member Stress Check

Payload Factor	Member Stress Check					
	Deck Member (Nontubular Member)			Jacket Member (Tubular Member)		
	23400	24314	24019	11541	11171	11418
1	0.171	0.166	0.167	0.172	0.181	0.182
2	0.346	0.325	0.334	0.297	0.387	0.284
3	0.521	0.484	0.500	0.429	0.594	0.386
4	0.696	0.643	0.667	0.561	0.801	0.488
5	0.871	0.802	0.834	0.693	1.013	0.590

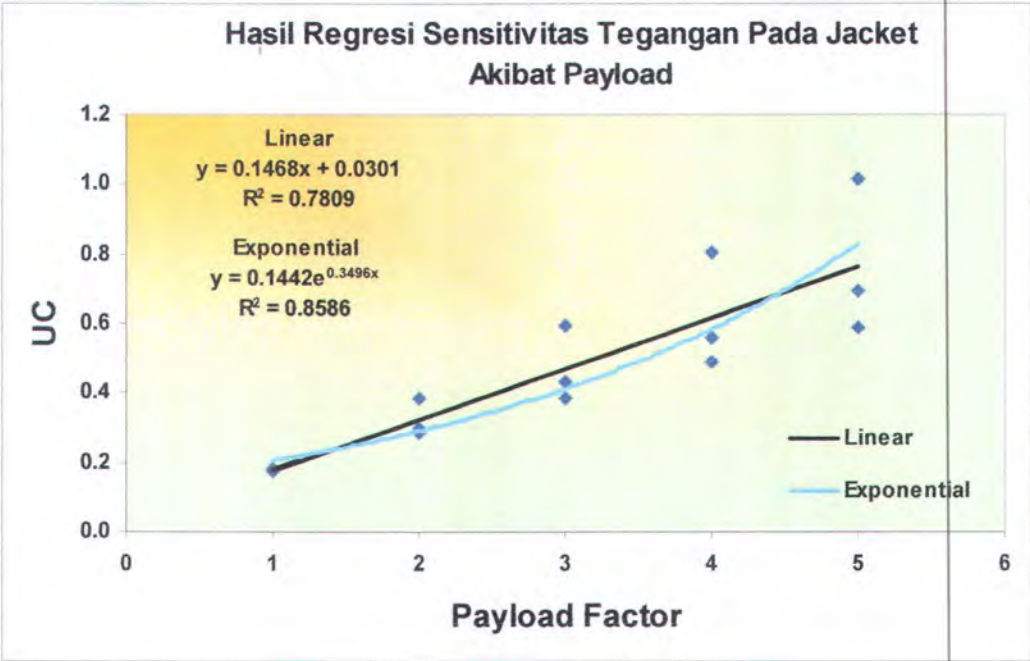
b. Grafik Sensitivitas Tegangan Akibat Payload Factor Dan Hasil Regresinya



Gambar 13. Regresi Sensitivitas Tegangan Pada Deck Akibat Payload Factor

Dari hasil regresi UC terhadap *payload factor* pada *deck* akibat *payload factor*, didapatkan nilai dari *R-Squared* (R^2) adalah 0.9944. Dengan demikian besar

sensitivitas yang dapat diterangkan akibat *payload* adalah 99.44 %. Dan hubungan antara UC terhadap *payload factor* pada *deck* adalah *linear*.



Gambar 14. Regresi Sensitivitas Tegangan Pada *Jacket* Akibat *Payload Factor*

Dari hasil regresi UC terhadap *payload factor* pada *jacket* akibat *payload factor*, didapatkan nilai dari *R-Squared* (R^2) adalah 0.8586. Dengan demikian besar sensitivitas yang dapat diterangkan akibat *payload* adalah 85.86 %. Sehingga hubungan antara UC terhadap *payload factor* pada *jacket* adalah *exponential (nonlinear)*.

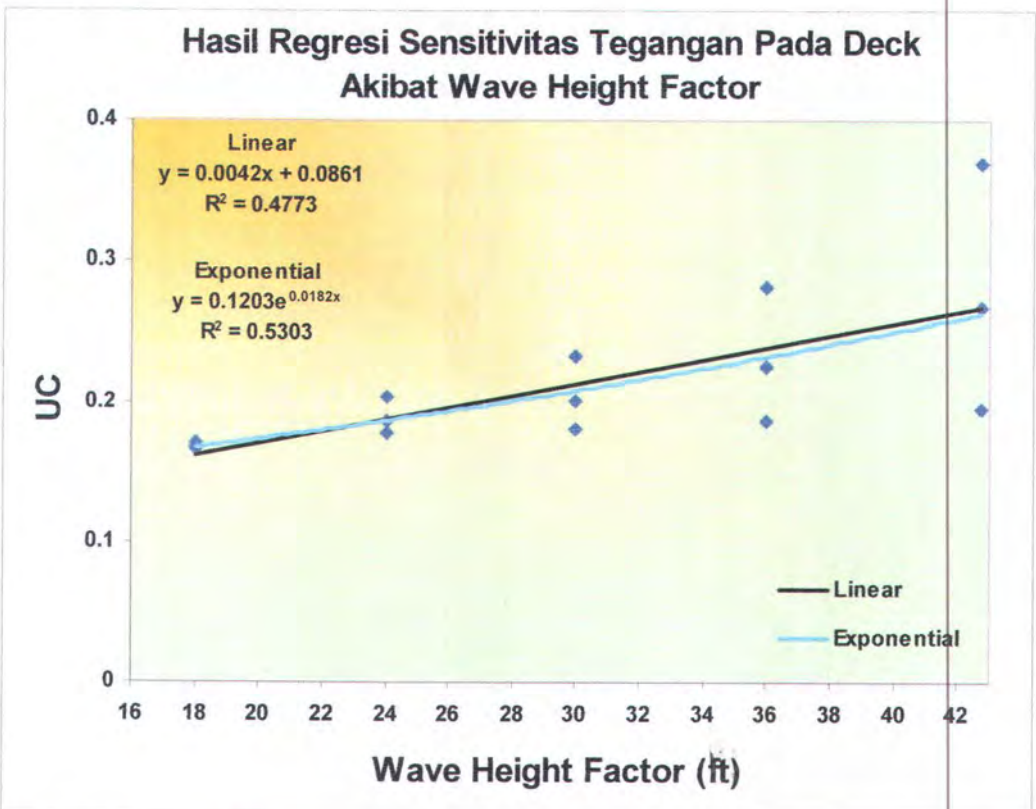
IV.1.2 Output dari Wave Height Factor

a. Member Stress Check

Tabel 4.2 *Member Stress Check*

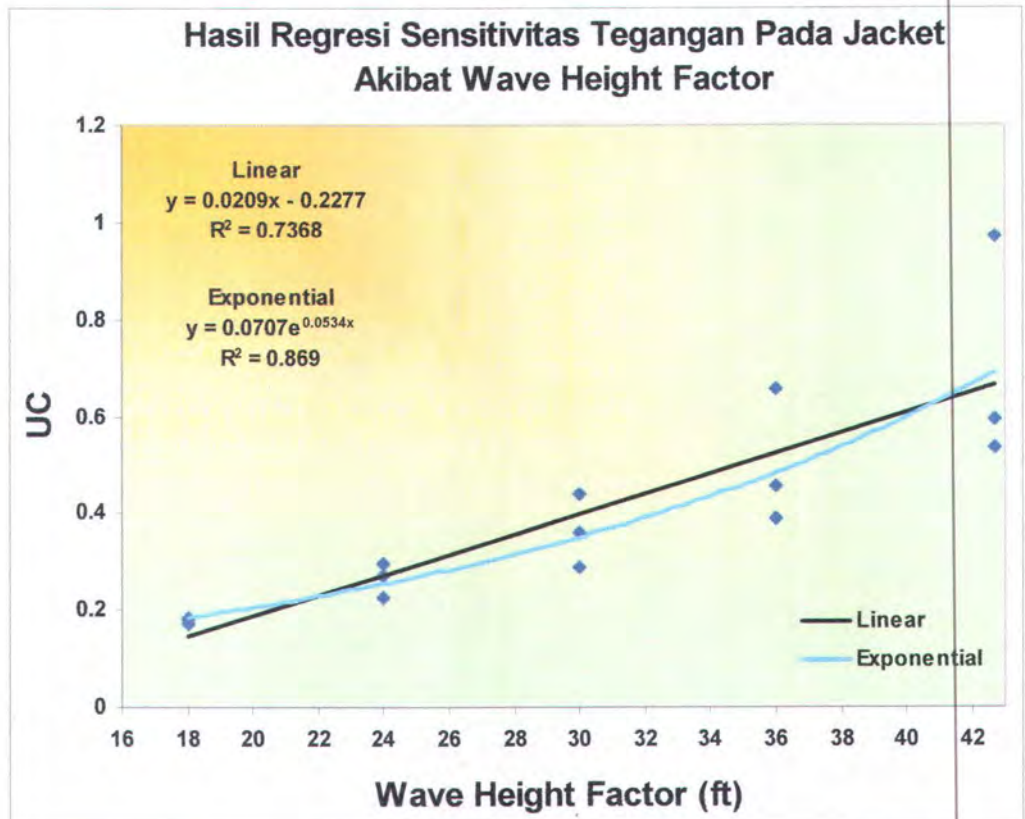
Wave Height (ft)	Wave Period (s)	Member Stress Check					
		Deck Member (Nontubular Member)			Jacket Member (Tubular Member)		
		23400	24314	24019	11541	11171	11418
18	7.3	0.171	0.166	0.167	0.172	0.181	0.182
24	9.73	0.178	0.203	0.187	0.225	0.270	0.297
30	12.16	0.181	0.232	0.201	0.290	0.361	0.441
36	14.59	0.186	0.281	0.225	0.387	0.455	0.655
42.72	17.32	0.195	0.369	0.267	0.534	0.595	0.969

b. Grafik Sensitivitas Tegangan Akibat *Wave Height factor* dan hasil regresinya



Gambar 15. Regresi Sensitivitas Tegangan Pada *Deck* Akibat *Wave Height Factor*

Dari hasil regresi UC terhadap *wave height factor* pada *deck* akibat *wave height factor*, didapatkan nilai dari *R-Squared* (R^2) adalah 0.5303. Dengan demikian besar sensitivitas yang dapat diterangkan akibat *wave height factor* adalah 53.03 %. Sehingga hubungan antara UC terhadap *wave height factor* pada *deck* adalah *exponential (nonlinear)*.



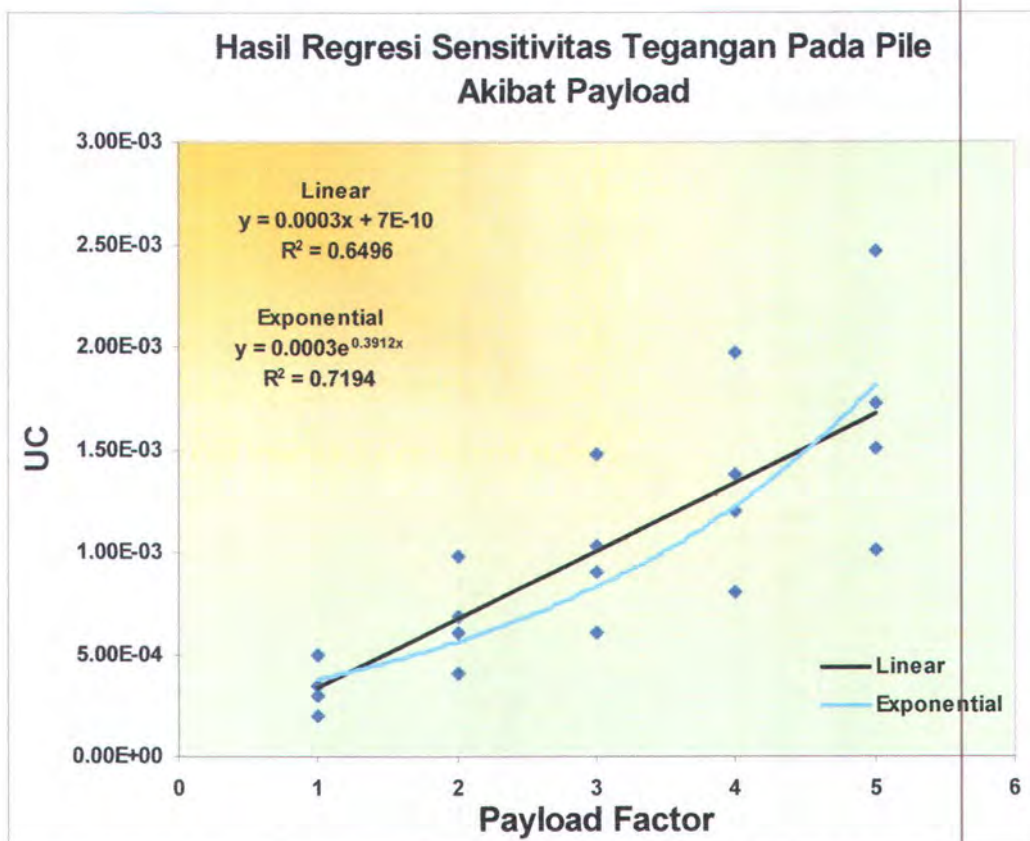
Gambar 16. Regresi Sensitivitas Tegangan Pada *Jacket* Akibat *Wave Height Factor*

Dari hasil regresi UC terhadap *wave height factor* pada *jacket* akibat *wave height factor*, didapatkan nilai dari *R-Squared* (R^2) adalah 0.8690. Dengan demikian besar sensitivitas yang dapat diterangkan akibat *wave height factor* adalah 86.90 %. Sehingga hubungan antara UC terhadap *wave height factor* pada *jacket* adalah *exponential (nonlinear)*.

IV.1.3 Output dari *Pile* akibat *Payload Factor*

Tabel 4.3 *Output Stress Check Pile*

Payload Factor	Maximum Unity Check (UC)			
	Pile 1	Pile 2	Pile 3	Pile 4
1	2.01E-04	3.44E-04	4.92E-04	3.00E-04
2	4.03E-04	6.88E-04	9.84E-04	6.01E-04
3	6.04E-04	1.03E-03	1.48E-03	9.01E-04
4	8.05E-04	1.38E-03	1.97E-03	1.20E-03
5	1.01E-03	1.72E-03	2.46E-03	1.50E-03



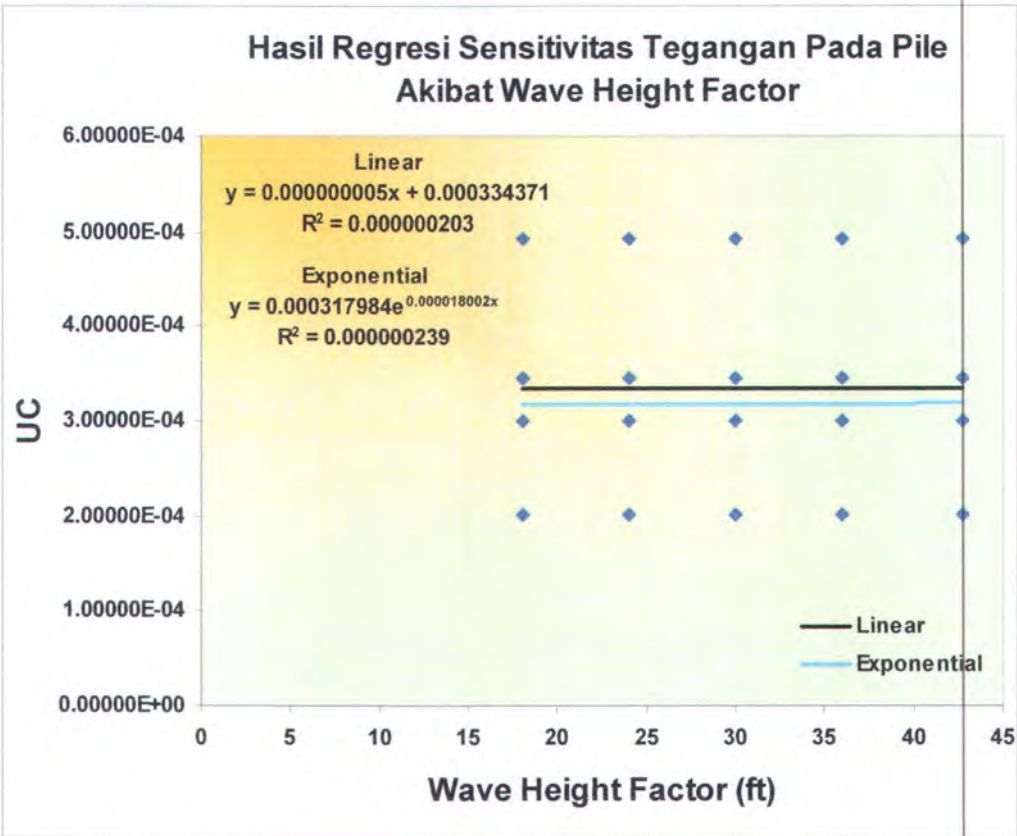
Gambar 17. Regresi Sensitivitas Tegangan Pada *Pile* Akibat *Payload Factor*

Dari hasil regresi UC terhadap *payload factor* pada *pile* akibat *payload factor*, didapatkan nilai dari *R-Squared* (R^2) adalah 0.7194. Dengan demikian besar sensitivitas yang dapat diterangkan akibat *payload* adalah 71.94 %. Sehingga hubungan antara UC terhadap *payload factor* pada *pile* adalah *exponential* (*nonlinear*).

IV.1.4 Output dari *Pile* akibat *Wave Height Factor*

Tabel 4.4 *Output Stress Check Pile*

Wave Height (ft)	Maximum Unity Check (UC)			
	Pile 1	Pile 2	Pile 3	Pile 4
18	2.01285E-04	3.44024E-04	4.92214E-04	3.00349E-04
24	2.01296E-04	3.44035E-04	4.92225E-04	3.00450E-04
30	2.01306E-04	3.44045E-04	4.92236E-04	3.00551E-04
36	2.01317E-04	3.44056E-04	4.92247E-04	3.00652E-04
42.72	2.01328E-04	3.44067E-04	4.92258E-04	3.00753E-04



Gambar 18. Regresi Sensitivitas Tegangan Pada *Pile* Akibat *Wave Height Factor*

Dari hasil regresi UC terhadap *wave height factor* pada *pile* akibat *wave height factor*, didapatkan nilai dari *R-Squared* (R^2) adalah $2.39E-07$. Dengan demikian besar sensitivitas yang dapat diterangkan akibat *wave height factor* adalah $2.39E-05$ %. Sehingga hubungan antara UC terhadap *wave height factor* pada *pile* adalah *exponential (nonlinear)*.

IV.2 Struktur LES-A *Jacket Platform*

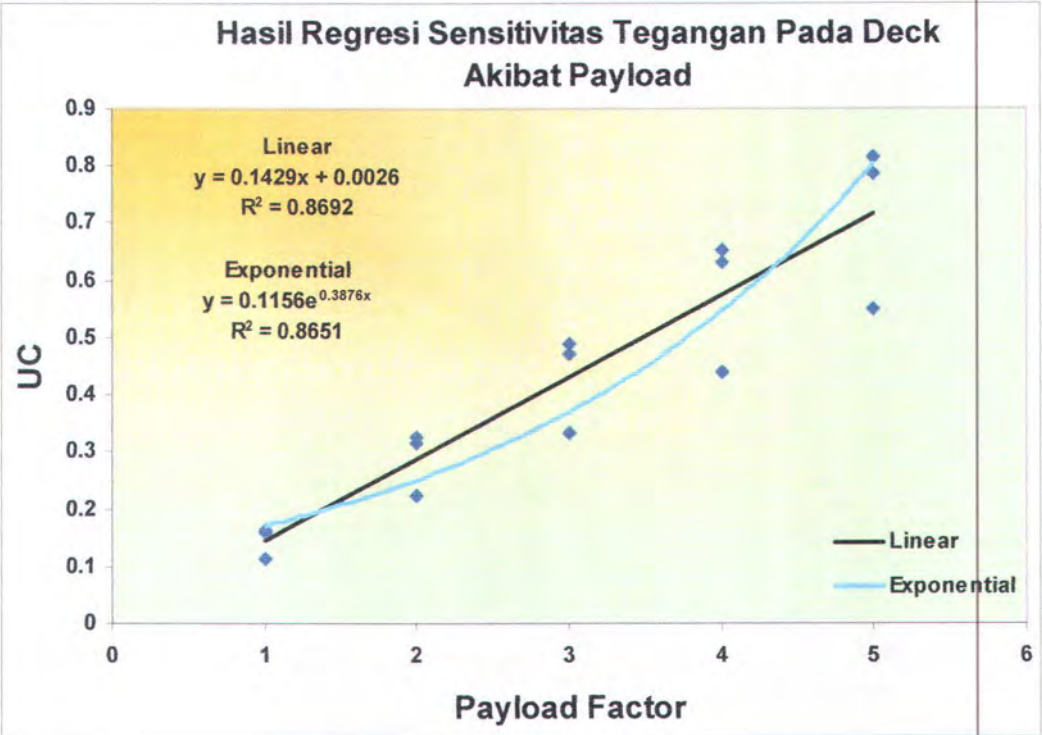
IV.2.1 Output dari *Payload Factor*

a. *Member Stress Check*

Tabel 4.5 *Member Stress Check*

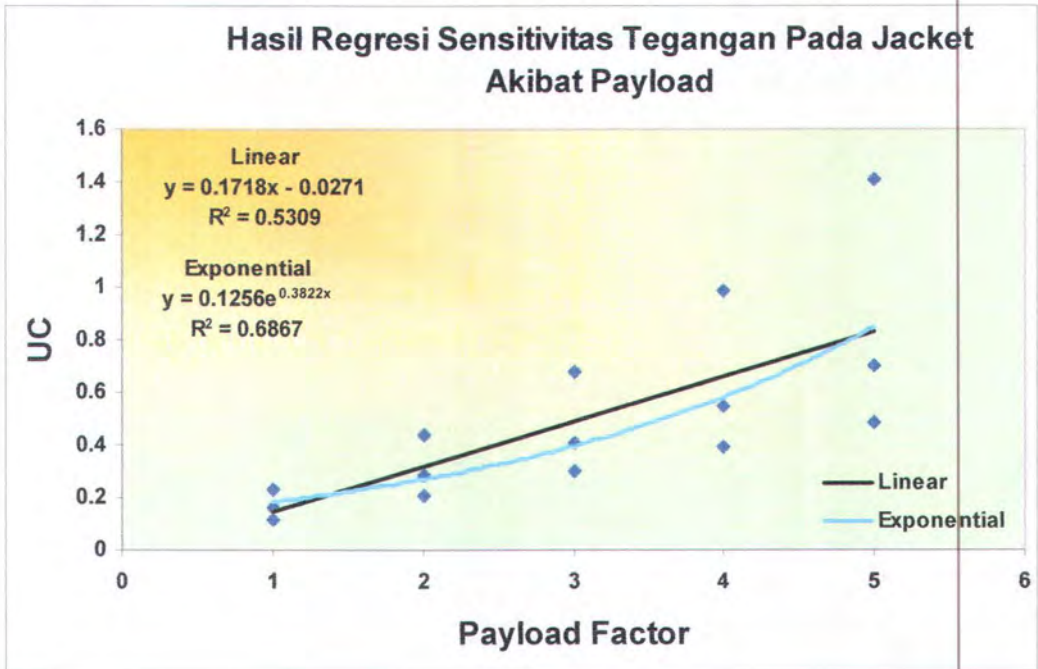
Payload Factor	Member Stress Check					
	Deck Member (Nontubular Member)			Jacket Member (Tubular Member)		
	MD 177	MD 310	WA 24	DB 4	DB 3	HB 15
1	0.113	0.163	0.160	0.229	0.163	0.118
2	0.223	0.326	0.317	0.436	0.281	0.206
3	0.332	0.489	0.473	0.679	0.408	0.298
4	0.441	0.652	0.630	0.983	0.545	0.389
5	0.550	0.815	0.786	1.411	0.698	0.481

b. Grafik Sensitivitas Tegangan Akibat *Payload Factor* Dan Hasil Regresinya



Gambar 19. Regresi Sensitivitas Tegangan Pada *Deck* Akibat *Payload Factor*

Dari hasil regresi UC terhadap *payload factor* pada *deck* akibat *payload factor*, didapatkan nilai dari *R-Squared* (R^2) adalah 0.8692. Dengan demikian besar sensitivitas yang dapat diterangkan akibat *payload* adalah 86.92 %. Sehingga hubungan antara UC terhadap *payload factor* pada *deck* adalah *linear*.



Gambar 20. Regresi Sensitivitas Tegangan Pada *Jacket* Akibat *Payload Factor*

Dari hasil regresi UC terhadap *payload factor* pada *jacket* akibat *payload factor*, didapatkan nilai dari *R-Squared* (R^2) adalah 0.6867. Dengan demikian besar sensitivitas yang dapat diterangkan akibat *payload* adalah 68.67 %. Sehingga hubungan antara UC terhadap *payload factor* pada *jacket* adalah *exponential (nonlinear)*.

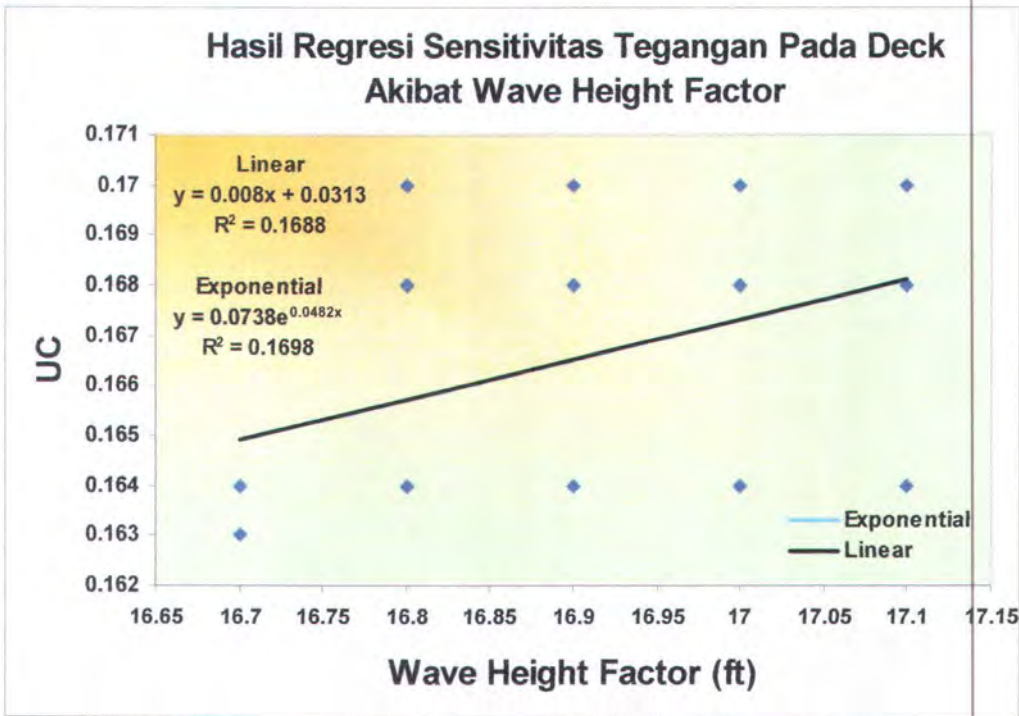
IV. 2.2 Output dari Wave Height Factor

a. Member Stress Check

Tabel 4.6 *Member Stress Check*

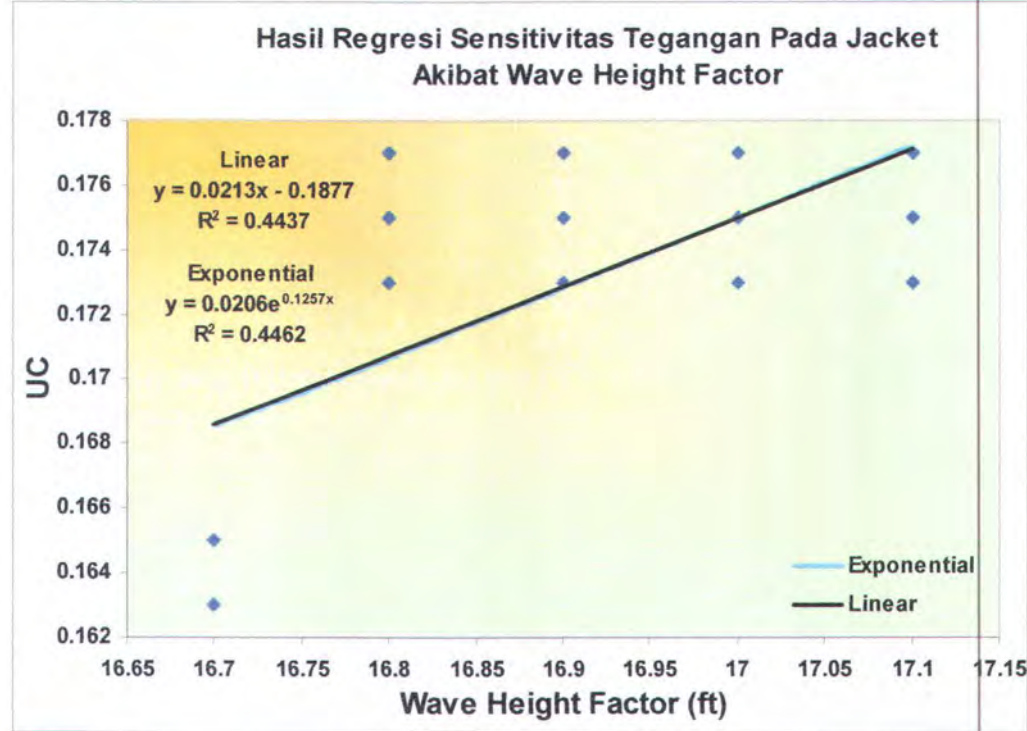
Wave Height (ft)	Wave Period (s)	Member Stress Check					
		Deck Member (Nontubular Member)			Jacket Member (Tubular Member)		
		MD 177	MD 310	WA 24	DB 4	DB 3	HB 15
16.7	6.77	0.163	0.164	0.163	0.165	0.163	0.165
16.8	6.81	0.164	0.170	0.168	0.175	0.173	0.177
16.9	6.85	0.164	0.170	0.168	0.175	0.173	0.177
17	6.89	0.164	0.170	0.168	0.175	0.173	0.177
17.1	6.93	0.164	0.170	0.168	0.175	0.173	0.177

b. Grafik Sensitivitas Tegangan Akibat Wave Height factor Dan Hasil Regresinya



Gambar 21. Regresi Sensitivitas Tegangan Pada *Deck* Akibat *Wave Height Factor*

Dari hasil regresi UC terhadap *wave height factor* pada *deck* akibat *wave height factor*, didapatkan nilai dari *R-Squared* (R^2) adalah 0.1698. Dengan demikian besar sensitivitas yang dapat diterangkan akibat *wave height factor* adalah 16.98 %. Sehingga hubungan antara UC terhadap *wave height factor* pada *deck* adalah *exponential (nonlinear)*.



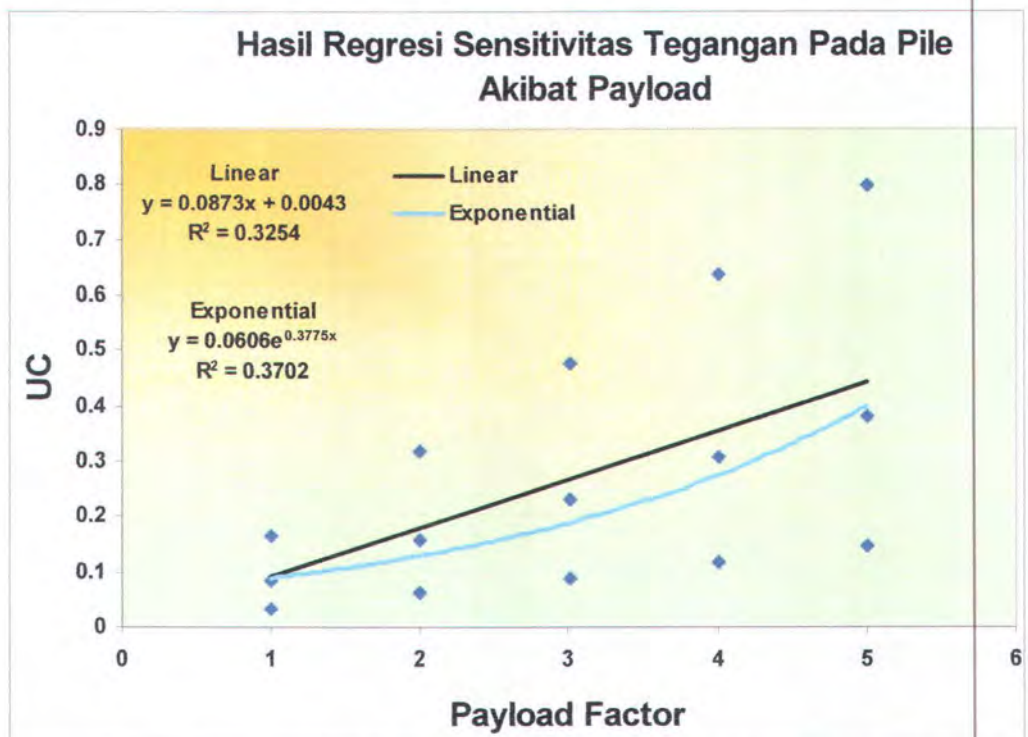
Gambar 22. Regresi Sensitivitas Tegangan Pada *Jacket* Akibat *Wave Height Factor*

Dari hasil regresi UC terhadap *wave height factor* pada *jacket* akibat *wave height factor*, didapatkan nilai dari *R-Squared* (R^2) adalah 0.4462. Dengan demikian besar sensitivitas yang dapat diterangkan akibat *wave height factor* adalah 44.62 %. Sehingga hubungan antara UC terhadap *wave height factor* pada *jacket* adalah *exponential (nonlinear)*.

IV.2.3 Output dari *Pile* akibat *Payload Factor*

Tabel 4.7 *Output Stress Check Pile*

Payload Factor	Maximum Unity Check (UC)		
	Pile 1	Pile 2	Pile 3
1	3.1147E-02	1.6418E-01	8.3473E-02
2	6.0686E-02	3.1700E-01	1.5616E-01
3	8.9453E-02	4.7550E-01	2.3146E-01
4	1.1793E-01	6.3512E-01	3.0653E-01
5	1.4584E-01	7.9878E-01	3.8144E-01



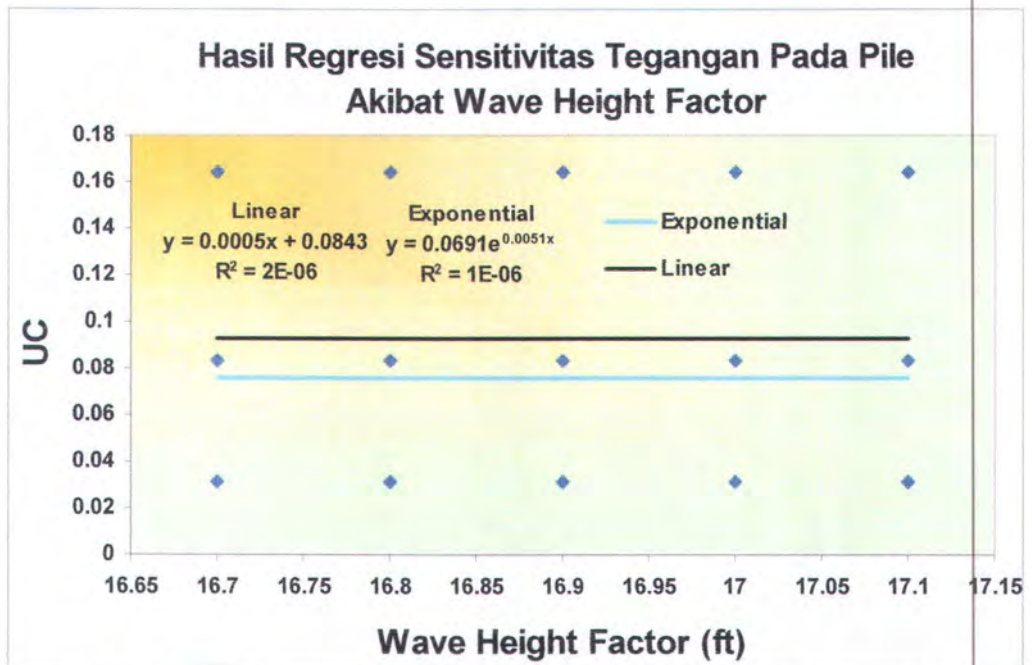
Gambar 23. Regresi Sensitivitas Tegangan Pada *Pile* Akibat *Payload Factor*

Dari hasil regresi UC terhadap *payload factor* pada *pile* akibat *payload factor*, didapatkan nilai dari *R-Squared* (R^2) adalah 0.3702. Dengan demikian besar sensitivitas yang dapat diterangkan akibat *payload* adalah 37.02 %. Sehingga hubungan antara UC terhadap *payload factor* pada *pile* adalah *exponential* (*nonlinear*).

IV.2.4 Output dari *Pile* akibat *Wave Height Factor*

Tabel 4.8 *Output Stress Check Pile*

Wave Height (ft)	Maximum Unity Check (UC)		
	Pile 1	Pile 2	Pile 3
16.7	8.3473E-02	1.6418E-01	8.3473E-02
16.8	8.3534E-02	1.6426E-01	8.3534E-02
16.9	8.3596E-02	1.6434E-01	8.3596E-02
17	8.3658E-02	1.6443E-01	8.3658E-02
17.1	8.3720E-02	1.6451E-01	8.3720E-02



Gambar 24. Regresi Sensitivitas Tegangan Pada Pile Akibat Wave Height Factor

Dari hasil regresi UC terhadap wave height factor pada pile akibat wave height factor, didapatkan nilai dari *R-Squared* (R^2) adalah 2E-06. Dengan demikian besar sensitivitas yang dapat diterangkan akibat wave height factor adalah 2E-04 %. Sehingga hubungan antara UC terhadap wave height factor pada pile adalah *linear*.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa pada bab 4 dapat diperoleh kesimpulan yang menjawab tujuan dari tugas akhir ini, yaitu :

1. Pada konfigurasi kaki *jacket* tetrapod (ZUF), *R-Squared* (R^2) terbesar pada *deck* dan *jacket* adalah 0.9944. Hal ini menunjukkan bahwa sensitivitas tegangan akibat *payload* lebih berpengaruh daripada sensitivitas akibat beban gelombang. Dan pada *tripod structure* (LES-A), *R-Squared* (R^2) terbesar pada *deck* dan *jacket* adalah 0.8692. Hal ini menunjukkan bahwa sensitivitas tegangan akibat *payload* lebih berpengaruh daripada sensitivitas akibat beban gelombang. Untuk *pile*, pada struktur ZUF ($R^2 = 0.7194$) dan LES-A ($R^2 = 0.3702$) mempunyai sensitivitas tegangan yang lebih besar akibat penambahan beban *payload* daripada sensitivitas tegangan akibat beban gelombang. Jadi *pile* pada kedua struktur lebih sensitif terhadap *payload factor*.
2. Hubungan *unity check* (UC) terhadap beban
 - a. Hubungan UC terhadap *payload* untuk struktur ZUF
 - Pada *deck* adalah *linear* ($R^2 = 0.9944$)
 - Pada *jacket* adalah *nonlinear* ($R^2 = 0.8586$)
 - Pada *pile* adalah *nonlinear* ($R^2 = 0.7194$)
 - b. Hubungan UC terhadap *payload* untuk struktur LES-A
 - Pada *deck* adalah *linear* ($R^2 = 0.8692$)
 - Pada *jacket* adalah *nonlinear* ($R^2 = 0.6867$)
 - Pada *pile* adalah *nonlinear* ($R^2 = 0.3702$)
 - c. Hubungan UC terhadap beban gelombang untuk struktur ZUF
 - Pada *deck* adalah *nonlinear* ($R^2 = 0.5303$)
 - Pada *jacket* adalah *nonlinear* ($R^2 = 0.8690$)
 - Pada *pile* adalah *nonlinear* ($R^2 = 2.39E-07$)
 - d. Hubungan UC terhadap beban gelombang untuk struktur LES-A
 - Pada *deck* adalah *nonlinear* ($R^2 = 0.1698$)
 - Pada *jacket* adalah *nonlinear* ($R^2 = 0.4462$)
 - Pada *pile* adalah *linear* ($R^2 = 2E-06$)

V.2 Saran

Untuk membuat keputusan yang lebih presisi atau akurat berdasarkan efisiensi dari sensitivitas, maka untuk tugas akhir berikutnya agar disertakan lebih banyak variasi dari parameter *payload* dan parameter beban gelombang serta *data* biaya struktur yang akan ditinjau. Pada disain *tubular member* sebaiknya disertakan pula analisa ekonominya menurut sensitivitas tegangan yang ditinjau. Kemudian analisa yang akan dilakukan ditambahkan pula analisa *seismic* dan analisa pada kondisi badai. Lalu dengan metode statistik digunakan pula koefisien korelasi (r) yang dilanjutkan dengan metode pengujian korelasi yaitu metode Chi Kuadrat dan dilanjutkan dengan ANOVA (*Analysis of Variance*) untuk memperoleh keputusan yang lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. (2000). **Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform – Working Stress Design**. Washington, DC.
- Bowles, J. E. (1988). **Foundation Analysis and Design, Fourth Edition**. McGraw – Hill, Inc.
- Boniface, David .R. (1995). **Experiment Design and Statistical Methods**. Chapman & Hall, UK.
- Chakrabarti, S. K. (1987). **Hydrodynamics of Offshore Structures**. Computational Mechanics Publications Southampton, Boston, USA.
- Hahn, G. D. (1992). *Sensitivity of The Dynamic Response of Simple Offshore Structural Models*. **Ocean Engineering**, Vol. 19, No 3, pp. 289-301.
- Homescu, Chris. dan Navon, I.M. (2002). *Numerical and Theoretical Considerations for Sensitivity Calculation of Discontinuous Flow*. <URL: <http://www.engineering.ucsb.edu/~homescu/articles/SensitivityDiscontinuousFlow.pdf>>.
- Indiyono, Paul. (2000). **Hidrodinamika I**. Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS, Surabaya.
- McClelland, B dan D Reifel, M. (1986). **Planning and Design of Fixed Offshore Platform**. Van Nostrand Reinhold Company Inc, New York, USA.
- Popov, E.P. (1993). **Mechanics of Materials**. Prentice – Hall Inc, New Jersey, USA.
- Pannell, J.D. (1997). *Sensitivity Analysis of Normative Economic Models: Theoretical Framework and Practical Strategies*. <URL:<http://www1.crcsalinity.com/newsletter/SeaNews/dpap971f.htm>>.
- Sharpkaya, T. dan Isaacson, M. (1981). **Mechanic of Wave Force on Offshore Structure**. Van Nostrand Reinhold Company, Melbourne, Australia.
- Soedjono, J. J., Sujantoko. (1998). **Diktat Mata kuliah Konstruksi Bangunan Laut II**. Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Sugiarto. (1992). **Analisis Regresi**. Andi Offset, Yogyakarta.
- Tomlinson, M.J. (1977). **Pile Design and Construction Practice**. A viewpoint publication, London.
- Trihatmojo, B. (1999). **Teknik Pantai**. Beta Offset, Yogyakarta.



LAMPIRAN A

LAMPIRAN A

OUTPUT *STRESS SENSITIVITY*

AKIBAT PAYLOAD

STRUKTUR ZUF



OUTPUT DATA MEMBER STRESS CHECK STRUKTUR ZUF (4-KAKI)

DECK MEMBER (NONTUBULAR MEMBER)

Member 23400

Payload Factor	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
1	Pass	104	0	0.187	B7 COMP	0.171	H2-1 TEN	0.187	B7 COMP	W18x35
2	Pass	104	0	0.346	H2-1 TEN	0.346	H2-1 TEN	0.187	B7 COMP	W18x35
3	Pass	104	0	0.521	H2-1 TEN	0.521	H2-1 TEN	0.187	B7 COMP	W18x35
4	Pass	104	0	0.696	H2-1 TEN	0.696	H2-1 TEN	0.187	B7 TEN	W18x35
5	Pass	104	0	0.871	H2-1 TEN	0.871	H2-1 TEN	0.187	B7 TEN	W18x35

Member 24314

Payload Factor	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
1	Pass	103	36	0.166	H2-1 TEN	0.166	H2-1 TEN	0.098	B7 TEN	W18x35
2	Pass	103	36	0.325	H2-1 TEN	0.325	H2-1 TEN	0.098	B7 TEN	W18x35
3	Pass	103	36	0.484	H2-1 TEN	0.484	H2-1 TEN	0.098	B7 TEN	W18x35
4	Pass	103	36	0.643	H2-1 TEN	0.643	H2-1 TEN	0.098	B7 TEN	W18x35
5	Pass	103	36	0.802	H2-1 TEN	0.802	H2-1 TEN	0.098	B7 TEN	W18x35

Member 24019

Payload Factor	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
1	Pass	104	36	0.229	B7 TEN	0.167	H2-1 TEN	0.229	B7 TEN	C6x13
2	Pass	104	36	0.334	H2-1 TEN	0.334	H2-1 TEN	0.229	B7 TEN	C6x13
3	Pass	104	36	0.5	H2-1 TEN	0.500	H2-1 TEN	0.229	B7 TEN	C6x13
4	Pass	104	36	0.667	H2-1 TEN	0.667	H2-1 TEN	0.229	B7 TEN	C6x13
5	Pass	104	36	0.834	H2-1 TEN	0.834	H2-1 TEN	0.229	B7 TEN	C6x13

JACKET MEMBER (TUBULAR MEMBER)

Member 11541

Payload Factor	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
1	Pass	106	69.029	0.172	3.3.1-3	0.172	3.3.1-3	0.024	3.3.1D C	Prismatic
2	Pass	107	69.029	0.297	3.3.1-2	0.297	3.3.1-2	0.024	3.3.1D C	Prismatic
3	Pass	107	69.029	0.429	3.3.1-2	0.429	3.3.1-2	0.024	3.3.1D C	Prismatic
4	Pass	107	69.029	0.561	3.3.1-2	0.561	3.3.1-2	0.024	3.3.1D C	Prismatic
5	Pass	107	69.029	0.693	3.3.1-2	0.693	3.3.1-2	0.024	3.3.1D C	Prismatic

Member 11171

Payload Factor	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
1	Pass	103	0	0.181	R3.3.1-3	0.181	R3.3.1-3	0.128	3.3.1D C	Prismatic
2	Pass	103	0	0.387	R3.3.1-3	0.387	R3.3.1-3	0.128	3.3.1D C	Prismatic
3	Pass	103	0	0.594	R3.3.1-3	0.594	R3.3.1-3	0.128	3.3.1D C	Prismatic
4	Pass	103	0	0.801	R3.3.1-3	0.801	R3.3.1-3	0.128	3.3.1D C	Prismatic
5	Failed	104	0	1.013	3.3.1-3	1.013	3.3.1-3	0.128	3.3.1D C	Prismatic

Member 11418

Payload Factor	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
1	Pass	106	0	0.182	3.3.1-3	0.182	3.3.1-3	0.115	3.3.1D C	Prismatic
2	Pass	106	0	0.284	3.3.1-3	0.284	3.3.1-3	0.115	3.3.1D C	Prismatic
3	Pass	106	0	0.386	3.3.1-3	0.386	3.3.1-3	0.115	3.3.1D C	Prismatic
4	Pass	106	0	0.488	3.3.1-3	0.488	3.3.1-3	0.115	3.3.1D C	Prismatic
5	Pass	106	0	0.59	3.3.1-3	0.590	3.3.1-3	0.115	3.3.1D C	Prismatic



LAMPIRAN B

LAMPIRAN B

OUTPUT *STRESS SENSITIVITY*

AKIBAT BEBAN GELOMBANG

STRUKTUR ZUF

OUTPUT DATA MEMBER STRESS CHECK STRUKTUR ZUF (4-KAKI)

DECK MEMBER (NONTUBULAR MEMBER)

Member 23400

Wave Height (ft)	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
18	Pass	104	0	0.187	B7 COMP	0.171	H2-1 TEN	0.187	B7 COMP	W18x35
24	Pass	102	0	0.187	B7 COMP	0.178	H2-1 TEN	0.187	B7 COMP	W18x35
30	Pass	102	0	0.187	B7 COMP	0.181	H2-1 TEN	0.187	B7 COMP	W18x35
36	Pass	102	0	0.187	B7 COMP	0.186	H2-1 TEN	0.187	B7 COMP	W18x35
42.72	Pass	102	0	0.195	H2-1 TEN	0.195	H2-1 TEN	0.187	B7 COMP	W18x35

Member 24314

Wave Height	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
18	Pass	103	36	0.166	H2-1 TEN	0.166	H2-1 TEN	0.098	B7 TEN	W18x35
24	Pass	102	36	0.203	H2-1 TEN	0.203	H2-1 TEN	0.098	B7 TEN	W18x35
30	Pass	102	36	0.232	H2-1 TEN	0.232	H2-1 TEN	0.098	B7 TEN	W18x35
36	Pass	102	36	0.281	H2-1 TEN	0.281	H2-1 TEN	0.098	B7 TEN	W18x35
42.72	Pass	102	36	0.369	H2-1 TEN	0.369	H2-1 TEN	0.098	B7 COMP	W18x35

Member 24019

Wave Height	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
18	Pass	104	36	0.229	B7 TEN	0.167	H2-1 TEN	0.229	B7 TEN	C6x13
24	Pass	102	36	0.229	B7 TEN	0.187	H2-1 TEN	0.229	B7 TEN	C6x13
30	Pass	102	36	0.229	B7 TEN	0.201	H2-1 TEN	0.229	B7 TEN	C6x13
36	Pass	102	36	0.229	B7 TEN	0.225	H2-1 TEN	0.229	B7 TEN	C6x13
42.72	Pass	102	36	0.267	H2-1 TEN	0.267	H2-1 TEN	0.229	B7 TEN	C6x13

JACKET MEMBER (TUBULAR MEMBER)

Member 11541

Wave Height	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
18	Pass	106	69.029	0.172	3.3.1-3	0.172	3.3.1-3	0.024	3.3.1D C	Prismatic
24	Pass	106	69.029	0.225	3.3.1-3	0.225	3.3.1-3	0.024	3.3.1D C	Prismatic
30	Pass	106	69.029	0.290	3.3.1-3	0.290	3.3.1-3	0.024	3.3.1D C	Prismatic
36	Pass	106	69.029	0.387	3.3.1-2	0.387	3.3.1-2	0.024	3.3.1D C	Prismatic
42.72	Pass	106	69.029	0.534	3.3.1-2	0.534	3.3.1-2	0.024	3.3.1D C	Prismatic

Member 11171

Wave Height	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
18	Pass	103	0	0.181	R3.3.1-3	0.181	R3.3.1-3	0.128	3.3.1D C	Prismatic
24	Pass	101	0	0.298	R3.3.1-3	0.270	R3.3.1-3	0.128	3.3.1D C	Prismatic
30	Pass	101	0	0.361	R3.3.1-3	0.361	R3.3.1-3	0.128	3.3.1D C	Prismatic
36	Pass	101	0	0.455	R3.3.1-3	0.455	R3.3.1-3	0.128	3.3.1D C	Prismatic
42.72	Pass	102	0	0.595	R3.3.1-3	0.595	R3.3.1-3	0.128	3.3.1D C	Prismatic

Member 11418

Wave Height	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
18	Pass	106	0	0.182	3.3.1-3	0.182	3.3.1-3	0.115	3.3.1D C	Prismatic
24	Pass	106	0	0.297	3.3.1-3	0.297	3.3.1-3	0.115	3.3.1D C	Prismatic
30	Pass	106	0	0.441	3.3.1-3	0.441	3.3.1-3	0.115	3.3.1D C	Prismatic
36	Pass	106	0	0.655	3.3.1-3	0.655	3.3.1-3	0.115	3.3.1D C	Prismatic
42.72	Pass	106	0	0.969	3.3.1-2	0.969	3.3.1-2	0.115	3.3.1D C	Prismatic



LAMPIRAN C

LAMPIRAN C
OUTPUT *PILE ANALYSIS*
AKIBAT PAYLOAD
STRUKTUR ZUF

[illegible][illegible]

[illegible][illegible]



LAMPIRAN D

LAMPIRAN D
OUTPUT *PILE ANALYSIS*
AKIBAT BEBAN GELOMBANG
STRUKTUR ZUF

[illegible][illegible]

[illegible][illegible]



LAMPIRAN E

LAMPIRAN E
OUTPUT *STRESS SENSITIVITY*
AKIBAT PAYLOAD
STRUKTUR LES-A

OUTPUT DATA MEMBER STRESS CHECK STRUKTUR LES-A (3-KAKI)

DECK MEMBER (NONTUBULAR MEMBER)

Member MD 177

Payload Factor	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
1	Pass	102	0	0.113	H2-1 TEN	0.113	H2-1 TEN	0.082	B7 TEN	W6x15
2	Pass	102	0	0.223	H2-1 TEN	0.223	H2-1 TEN	0.082	B7 TEN	W6x15
3	Pass	102	0	0.332	H2-1 TEN	0.332	H2-1 TEN	0.082	B7 TEN	W6x15
4	Pass	102	0	0.441	H2-1 TEN	0.441	H2-1 TEN	0.082	B7 TEN	W6x15
5	Pass	102	0	0.55	H2-1 TEN	0.55	H2-1 TEN	0.082	B7 TEN	W6x15

Member MD 310

Payload Factor	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
1	Pass	103	0	0.163	H2-1 TEN	0.163	H2-1 TEN	0.008	B7 TEN	W6x15
2	Pass	103	0	0.326	H2-1 TEN	0.326	H2-1 TEN	0.008	B7 TEN	W6x15
3	Pass	103	0	0.489	H2-1 TEN	0.489	H2-1 TEN	0.008	B7 TEN	W6x15
4	Pass	103	0	0.652	H2-1 TEN	0.652	H2-1 TEN	0.008	B7 TEN	W6x15
5	Pass	103	0	0.815	H2-1 TEN	0.815	H2-1 TEN	0.008	B7 TEN	W6x15

Member WA 24

Payload Factor	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
1	Pass	100	0	0.16	H2-1 TEN	0.16	H2-1 TEN	0.075	B7 TEN	W6x12
2	Pass	100	0	0.317	H2-1 TEN	0.317	H2-1 TEN	0.075	B7 TEN	W6x12
3	Pass	100	0	0.473	H2-1 TEN	0.473	H2-1 TEN	0.075	B7 TEN	W6x12
4	Pass	100	0	0.63	H2-1 TEN	0.63	H2-1 TEN	0.075	B7 TEN	W6x12
5	Pass	100	0	0.786	H2-1 TEN	0.786	H2-1 TEN	0.075	B7 TEN	W6x12

JACKET MEMBER (TUBULAR MEMBER)

Member DB 4

Payload Factor	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
1	Pass	107	3.761	0.638	3.3.1D C	0.229	3.3.1-4	0.638	3.3.1D C	Pipe
2	Pass	107	3.761	0.638	3.3.1D C	0.436	3.3.1-4	0.638	3.3.1D C	Pipe
3	Pass	107	3.761	0.679	3.3.1-4	0.679	3.3.1-4	0.638	3.3.1D C	Pipe
4	Pass	107	3.761	0.983	3.3.1-4	0.983	3.3.1-4	0.638	3.3.1D C	Pipe
5	Failed	107	3.761	1.411	3.3.1-4	1.411	3.3.1-4	0.638	3.3.1D C	Pipe

Member DB 3

Payload Factor	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
1	Pass	104	0	0.547	3.3.1D C	0.163	R3.3.1-3	0.547	3.3.1D C	Pipe
2	Pass	104	0	0.547	3.3.1D C	0.281	R3.3.1-4	0.547	3.3.1D C	Pipe
3	Pass	104	0	0.547	3.3.1D C	0.408	R3.3.1-4	0.547	3.3.1D C	Pipe
4	Pass	104	0	0.547	3.3.1D C	0.545	R3.3.1-4	0.547	3.3.1D C	Pipe
5	Pass	104	0	0.698	R3.3.1-4	0.698	R3.3.1-4	0.547	3.3.1D C	Pipe

Member HB 15

Payload Factor	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
1	Pass	104	0	0.118	R3.3.1-3	0.118	R3.3.1-3	0.11	3.3.1D C	Pipe
2	Pass	104	0	0.206	R3.3.1-4	0.206	R3.3.1-4	0.11	3.3.1D C	Pipe
3	Pass	104	0	0.298	R3.3.1-4	0.298	R3.3.1-4	0.11	3.3.1D C	Pipe
4	Pass	104	0	0.389	R3.3.1-4	0.389	R3.3.1-4	0.11	3.3.1D C	Pipe
5	Pass	104	0	0.481	R3.3.1-4	0.481	R3.3.1-4	0.11	3.3.1D C	Pipe



LAMPIRAN F

LAMPIRAN F

OUTPUT *STRESS SENSITIVITY*

AKIBAT BEBAN GELOMBANG

STRUKTUR LES-A

OUTPUT DATA MEMBER STRESS CHECK STRUKTUR LES-A (3-KAKI)

DECK MEMBER (NONTUBULAR MEMBER)

Member MD 177

Wave Height (ft)	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
16.7	Pass	102	0	0.113	H2-1 TEN	0.163	H2-1 TEN	0.082	B7 TEN	W6x15
16.8	Pass	102	0	0.114	H2-1 TEN	0.164	H2-1 TEN	0.082	B7 TEN	W6x15
16.9	Pass	102	0	0.114	H2-1 TEN	0.164	H2-1 TEN	0.082	B7 TEN	W6x15
17	Pass	102	0	0.114	H2-1 TEN	0.164	H2-1 TEN	0.082	B7 TEN	W6x15
17.1	Pass	102	0	0.114	H2-1 TEN	0.164	H2-1 TEN	0.082	B7 TEN	W6x15

Member MD 310

Wave Height	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
16.7	Pass	103	0	0.163	H2-1 TEN	0.164	H2-1 TEN	0.008	B7 TEN	W6x15
16.8	Pass	103	0	0.163	H2-1 TEN	0.170	H2-1 TEN	0.008	B7 TEN	W6x15
16.9	Pass	103	0	0.163	H2-1 TEN	0.170	H2-1 TEN	0.008	B7 TEN	W6x15
17	Pass	103	0	0.164	H2-1 TEN	0.170	H2-1 TEN	0.008	B7 TEN	W6x15
17.1	Pass	103	0	0.164	H2-1 TEN	0.170	H2-1 TEN	0.008	B7 TEN	W6x15

Member WA 24

Wave Height	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
16.7	Pass	100	0	0.16	H2-1 TEN	0.163	H2-1 TEN	0.075	B7 TEN	W6x12
16.8	Pass	100	0	0.16	H2-1 TEN	0.168	H2-1 TEN	0.075	B7 TEN	W6x12
16.9	Pass	100	0	0.161	H2-1 TEN	0.168	H2-1 TEN	0.075	B7 TEN	W6x12
17	Pass	100	0	0.161	H2-1 TEN	0.168	H2-1 TEN	0.075	B7 TEN	W6x12
17.1	Pass	100	0	0.161	H2-1 TEN	0.168	H2-1 TEN	0.075	B7 TEN	W6x12

JACKET MEMBER (TUBULAR MEMBER)

Member DB 4

Wave Height	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
16.7	Pass	107	3.761	0.638	3.3.1D C	0.165	3.3.1-4	0.638	3.3.1D C	Pipe
16.8	Pass	107	3.761	0.638	3.3.1D C	0.175	3.3.1-4	0.638	3.3.1D C	Pipe
16.9	Pass	107	3.761	0.638	3.3.1D C	0.175	3.3.1-4	0.638	3.3.1D C	Pipe
17	Pass	107	3.761	0.638	3.3.1D C	0.175	3.3.1-4	0.638	3.3.1D C	Pipe
17.1	Pass	107	3.761	0.638	3.3.1D C	0.175	3.3.1-4	0.638	3.3.1D C	Pipe

Member DB 3

Wave Height	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
16.7	Pass	104	0	0.547	3.3.1D C	0.163	R3.3.1-3	0.547	3.3.1D C	Pipe
16.8	Pass	104	0	0.547	3.3.1D C	0.173	R3.3.1-3	0.547	3.3.1D C	Pipe
16.9	Pass	104	0	0.547	3.3.1D C	0.173	R3.3.1-3	0.547	3.3.1D C	Pipe
17	Pass	104	0	0.547	3.3.1D C	0.173	R3.3.1-3	0.547	3.3.1D C	Pipe
17.1	Pass	104	0	0.547	3.3.1D C	0.173	R3.3.1-3	0.547	3.3.1D C	Pipe

Member HB 15

Wave Height	Pass / Fail	Load	Section Location	Critical Ratio	Critical Provision	Stress Ratio	Stress Provision	KL / r Ratio	KL / r Provision	Current Properties
16.7	Pass	104	0	0.118	R3.3.1-3	0.165	R3.3.1-3	0.110	3.3.1D C	Pipe
16.8	Pass	104	0	0.119	R3.3.1-3	0.177	R3.3.1-3	0.110	3.3.1D C	Pipe
16.9	Pass	104	0	0.119	R3.3.1-3	0.177	R3.3.1-3	0.110	3.3.1D C	Pipe
17	Pass	104	0	0.119	R3.3.1-3	0.177	R3.3.1-3	0.110	3.3.1D C	Pipe
17.1	Pass	104	0	0.119	R3.3.1-3	0.177	R3.3.1-3	0.110	3.3.1D C	Pipe



LAMPIRAN G

LAMPIRAN G
OUTPUT *PILE ANALYSIS*
AKIBAT PAYLOAD
STRUKTUR LES-A

PILE 1	Unity Check (UC) Pada Arah Gelombang								Maksimum UC
Payload Factor	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	
1	2.72E-02	2.95E-02	2.79E-02	3.08E-02	2.93E-02	2.79E-02	3.05E-02	3.11E-02	3.1147E-02
2	5.76E-02	5.93E-02	5.81E-02	6.04E-02	5.93E-02	5.82E-02	6.02E-02	6.07E-02	6.0686E-02
3	8.60E-02	8.80E-02	8.66E-02	8.92E-02	8.79E-02	8.67E-02	8.89E-02	8.95E-02	8.9453E-02
4	1.14E-01	1.16E-01	1.15E-01	1.18E-01	1.16E-01	1.15E-01	1.17E-01	1.18E-01	1.1793E-01
5	1.42E-01	1.44E-01	1.43E-01	1.46E-01	1.44E-01	1.43E-01	1.45E-01	1.46E-01	1.4584E-01

PILE 2	Unity Check (UC) Pada Arah Gelombang								Maksimum UC
Payload Factor	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	
1	1.64E-01	1.25E-01	1.47E-01	1.15E-01	1.42E-01	1.60E-01	1.24E-01	1.14E-01	1.6418E-01
2	3.17E-01	2.77E-01	2.99E-01	2.67E-01	2.95E-01	3.13E-01	2.77E-01	2.67E-01	3.1700E-01
3	4.76E-01	4.34E-01	4.57E-01	4.25E-01	4.54E-01	4.70E-01	4.37E-01	4.25E-01	4.7550E-01
4	6.35E-01	5.95E-01	6.15E-01	5.86E-01	6.15E-01	6.31E-01	5.99E-01	5.88E-01	6.3512E-01
5	7.99E-01	7.61E-01	7.82E-01	7.53E-01	7.80E-01	7.95E-01	7.63E-01	7.53E-01	7.9878E-01

PILE 3	Unity Check (UC) Pada Arah Gelombang								Maksimum UC
Payload Factor	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	
1	7.79E-02	7.34E-02	7.24E-02	8.02E-02	8.04E-02	7.75E-02	8.34E-02	8.35E-02	8.3473E-02
2	1.53E-01	1.49E-01	1.50E-01	1.52E-01	1.56E-01	1.55E-01	1.56E-01	1.54E-01	1.5616E-01
3	2.30E-01	2.25E-01	2.26E-01	2.27E-01	2.31E-01	2.31E-01	2.31E-01	2.29E-01	2.3146E-01
4	3.05E-01	3.00E-01	3.01E-01	3.02E-01	3.07E-01	3.06E-01	3.06E-01	3.04E-01	3.0653E-01
5	3.80E-01	3.75E-01	3.76E-01	3.77E-01	3.81E-01	3.81E-01	3.80E-01	3.79E-01	3.8144E-01



LAMPIRAN H

LAMPIRAN H
OUTPUT *PILE ANALYSIS*
AKIBAT BEBAN GELOMBANG
STRUKTUR LES-A

PILE 1	Unity Check (UC) Pada Arah Gelombang								Maksimum UC
Wave Height (ft)	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	
16.7	7.79E-02	7.34E-02	7.24E-02	8.02E-02	8.04E-02	7.71E-02	8.34E-02	8.35E-02	8.3473E-02
16.8	7.79E-02	7.34E-02	7.24E-02	8.03E-02	8.04E-02	7.75E-02	8.35E-02	8.35E-02	8.3534E-02
16.9	7.80E-02	7.34E-02	7.23E-02	8.03E-02	8.04E-02	7.73E-02	8.35E-02	8.36E-02	8.3596E-02
17	7.80E-02	7.34E-02	7.23E-02	8.03E-02	8.04E-02	7.73E-02	8.36E-02	8.37E-02	8.3658E-02
17.1	7.81E-02	7.34E-02	7.23E-02	8.04E-02	8.04E-02	7.73E-02	8.36E-02	8.37E-02	8.3720E-02

PILE 2	Unity Check (UC) Pada Arah Gelombang								Maksimum UC
Wave Height (ft)	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	
16.7	1.64E-01	1.25E-01	1.47E-01	1.15E-01	1.42E-01	1.60E-01	1.24E-01	1.14E-01	1.6418E-01
16.8	1.64E-01	1.25E-01	1.47E-01	1.15E-01	1.42E-01	1.60E-01	1.24E-01	1.14E-01	1.6426E-01
16.9	1.64E-01	1.25E-01	1.47E-01	1.15E-01	1.42E-01	1.60E-01	1.24E-01	1.14E-01	1.6434E-01
17	1.64E-01	1.25E-01	1.47E-01	1.15E-01	1.42E-01	1.60E-01	1.24E-01	1.14E-01	1.6443E-01
17.1	1.65E-01	1.25E-01	1.47E-01	1.14E-01	1.42E-01	1.60E-01	1.24E-01	1.14E-01	1.6451E-01



PILE 3	Unity Check (UC) Pada Arah Gelombang								Maksimum UC
Wave Height (ft)	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	
16.7	7.79E-02	7.34E-02	7.24E-02	8.02E-02	8.04E-02	7.71E-02	8.34E-02	8.35E-02	8.3473E-02
16.8	7.79E-02	7.34E-02	7.24E-02	8.03E-02	8.04E-02	7.75E-02	8.35E-02	8.35E-02	8.3534E-02
16.9	7.80E-02	7.34E-02	7.23E-02	8.03E-02	8.04E-02	7.73E-02	8.35E-02	8.36E-02	8.3596E-02
17	7.80E-02	7.34E-02	7.23E-02	8.03E-02	8.04E-02	7.73E-02	8.36E-02	8.37E-02	8.3658E-02
17.1	7.81E-02	7.34E-02	7.23E-02	8.04E-02	8.04E-02	7.73E-02	8.36E-02	8.37E-02	8.3720E-02



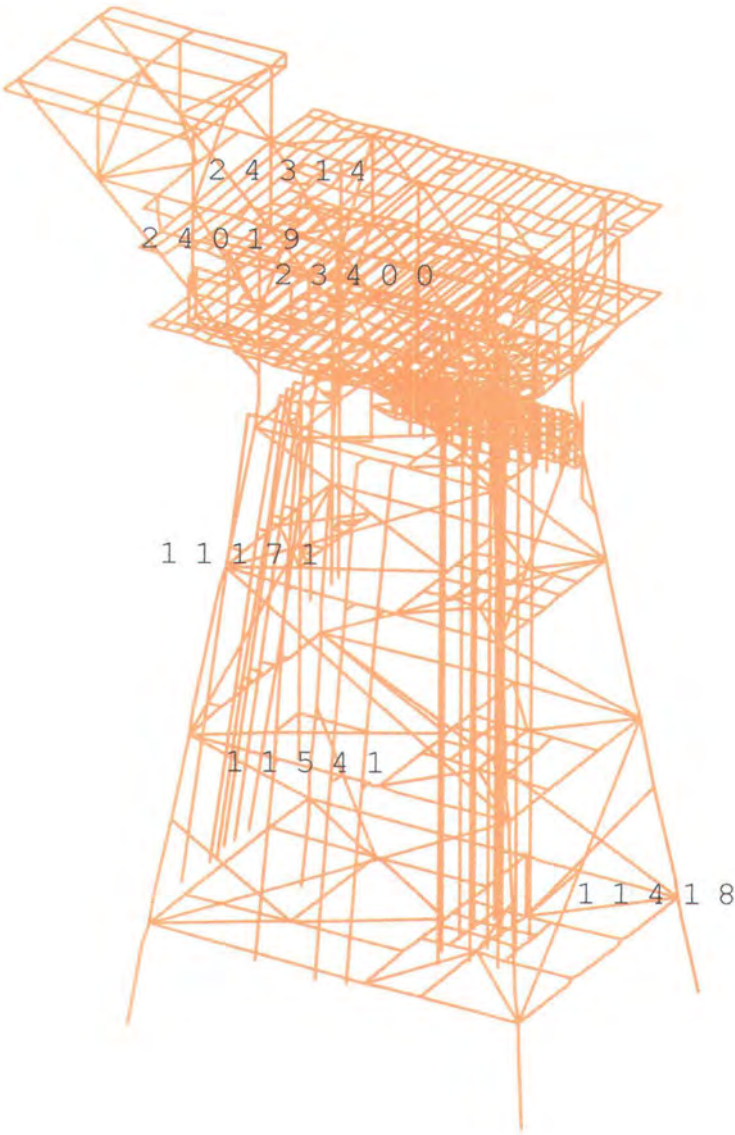
LAMPIRAN I

LAMPIRAN I

GAMBAR LOKASI MEMBER KRITIS

STRUKTUR ZUF DAN LES-A

STRUKTUR ZUF



STRUKTUR LES-A

